

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. F. Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Seitenkanäle der Rattenmolaren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Eberhard Back
Zahnarzt aus Tiengen

Mainz 1966

Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
(Direktor: Prof. Dr. F. Jung)
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Die Seitenkanäle der Rattenmolaren

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

vorgelegt von

Eberhard Back
Zahnarzt aus Tiengen

Mainz 1966



Dekan: Prof. Dr. J. Borneff
Referent: Prof.Dr.Dr.M.Herrmann

Inhaltsübersicht

I. Literarischer Teil	Seite
1. Einleitung	1
2. Allgemeine Beschreibung makroskopischer und mikroskopischer Befunde	2
3. Die Untersuchungsmethoden	6
a) Die Korrosionsmethoden	7
b) Die Aufhellungsmethode	10
c) Die histologisch-mikroskopische Methode	12
4. Das Versuchstier	14
II. Experimenteller Teil	
1. Forderungen an die Untersuchungsmethode	19
2. Die Methode	21
3. Befunde	26
a) Allgemeine Befunde	32
b) Spezielle Befunde	33
c) Statistische Auswertung der Unter- suchungsergebnisse	49
III. Diskussion	68
IV. Zusammenfassung	91
V. Literaturverzeichnis	

I. Literarischer Teil

1. Einleitung und Fragestellung

In der Zahnheilkunde spielen Seitenkanäle eine große Rolle. Von ihrem Vorhandensein, ihrer Anzahl und ihrer Lage wird es abhängen, ob ein pulpentoter Zahn wurzelbehandelt werden kann, oder ob er extrahiert werden muß. Es ist deshalb nicht erstaunlich, daß namhafte Autoren wie PREISWERK (14), FISCHER (4), HESS (7) und MEYER (12), um nur die wichtigsten zu nennen, im Rahmen ihrer Untersuchungen über die feinere Anatomie des menschlichen Gebisses gerade diesem Problem eine besondere Beachtung geschenkt haben. Ihre Untersuchungen ergaben: Der Wurzelkanal stellt nicht ein einfach gebautes monotones Rohr dar, sondern gabelt sich in unzählige Verästelungen auf.

Was sind nun Seitenkanäle? Wie entstehen sie? Man versteht unter Seitenkanälchen alle von der Pulpakammer zum Periodontium durchgehenden Kanalverzweigungen. Über ihre Entstehung ist nichts bekannt. Wahrscheinlich ist durch irgendeine unbekannte äußere Ursache die Verkalkung eines Teils des Dentins unterblieben.

Die vorliegende Arbeit ist Teil einer umfassenden Untersuchung, die zu klären sucht, ob sich Seitenkanäle experimentell erzeugen lassen. Diese Frage soll auf folgende Weise gelöst werden: Es werden gesunde Versuchstiere, in diesem Falle Ratten, auf Seitenkanäle untersucht, und, falls solche gefunden werden, wird die Zahl der Kanälchen ermittelt. Dann wird

die gleiche Untersuchung an Ratten des gleichen Alters, Geschlechtes und desselben Stammes wiederholt, die jedoch während der Entwicklungszeit des dritten Molaren einer artifizuellen Mineralisationsstörung ausgesetzt waren. Aufgrund des Vergleichs der Häufigkeiten kann dann gefolgert werden, ob etwa auftretende Unterschiede als zufällig oder als signifikant anzusehen sind. In der vorliegenden Arbeit sollen die Zähne gesunder Ratten auf Seitenkanäle untersucht werden. Das Auszählen der Kanäle ist aber nicht das einzige Ziel dieser Arbeit. Sie soll auch Einblick geben in die mikroskopische Anatomie des Rattenzahnes. Zwar liegen exakte Untersuchungen über die Struktur des Schmelzes und des Dentins vor (16,S.16-18), über die Pulpa, die Wurzelkanäle, den Apex aber ist Genaues nicht bekannt. Es steht deshalb nicht der einzelne Kanal im Mittelpunkt, nicht das genaue Auszählen der Verzweigungen ist das Wichtigste - wenn das auch selbstverständlich ist -, entscheidend ist das histologische Gesamtbild des Rattenzahnes und damit die Frage: Ist die Ähnlichkeit zwischen Ratten- und Menschenzahn bezüglich der Verzweigungen so groß, daß grundlegende Ergebnisse, die mit Hilfe des Versuchstiers "Ratte" gefunden werden, auf das menschliche Zahnsystem übertragen werden können?

2. Allgemeine Beschreibung makroskopischer und mikroskopischer Befunde.

In den letzten 60 Jahren ist eine Reihe von Arbeiten veröffentlicht worden, die sich mit den Seitenkanälen der menschlichen Zähne beschäftigen. Es soll über diese Arbeiten berichtet

werden, obwohl keiner der Autoren den Rattenzahn in seine Untersuchungen einbezog, und zwar deshalb, weil Untersuchungstechnik, Terminologie und Problemstellung einander ähnlich sind.

Als erster wies MILLER (13) 1903 auf die Wichtigkeit der genauen Kenntnis der Wurzelkanäle hin. Er schreibt: "Um eine erfolgreiche Wurzelbehandlung machen zu können, ist vor allem eine gründliche anatomische Kenntnis der Lage und Gestalt der Wurzeln, Verlauf und Weite der Kanäle usw. erforderlich" (13, S. 388). PREISWERK (14) lieferte 1903 den anatomischen Beweis für die Vielgestaltigkeit der Wurzelkanäle, indem er diese mit leichtflüssigem Metall ausgoß und anschließend die Hartsubstanzen mit 20%iger Kalilauge auflöste. Sein kurzer Kommentar: "Nicht selten zeigt sich in gewissen Wurzeln ein anastomosierendes Kanalsystem" (14, S. 39).

FISCHER (4) wiederholte 1907 die Versuche PREISWERKS an 600 Zähnen aller Gattungen. Dabei ging es ihm um dreierlei:

- a) eine noch exaktere Ausfüllung der Wurzelkanäle;
- b) Präparate, die sich zur Dokumentation eignen (PREISWERK hatte nur wenige und zur Dokumentation ungeeignete Präparate hergestellt);
- c) eine Berücksichtigung des Alters (PREISWERK hatte auf eine altersgemäße Differenzierung verzichtet).

FISCHER erreichte diese Ziele durch eine verfeinerte Untersuchungstechnik und indem er ein neues Füllmittel für die Wurzelkanäle verwendete. Er bestätigte die Ergebnisse PREISWERKS im allgemeinen, meinte aber, die Verästelungen seien nicht immer als normale anatomische Formen anzusehen. Das

Auftreten bei Jugendlichen sei ganz und gar nicht normal.

Eine grundsätzlich neue Methode zur Untersuchung der Wurzelkanäle stammt von ADLOFF (1). Er verzichtet auf die Auflösung der Zahnhartsubstanzen nach dem Anfüllen der Wurzelkanäle und hellte stattdessen die Zähne so auf, daß sie durchsichtig wurden. Neue Ergebnisse brachte diese Methode jedoch nicht.

Die umfangreichste Untersuchung zur Klärung der topographischen Verhältnisse im Wurzelkanal stammt von HESS (7). Er kehrte wieder zur Korrosionsmethode zurück, das heißt er löste die Zahnhartsubstanzen nach der Ausfüllung der Wurzelkanäle auf. In mühseliger Kleinarbeit suchte er das geeignetste Füllmittel und die beste Fülltechnik; ohne zu übertreiben kann man sagen: HESS hat alle Möglichkeiten der Korrosionsmethode ausgeschöpft; er hat diese perfekt gemacht. Ziel seiner Untersuchung war es, festzustellen:

- a) Welchen Einfluß hat das Alter auf die Wurzelbildung?
- b) Stimmen die Ergebnisse PREISWERKS, FISCHERS, ADLOFFS?

Um alle pathologischen Einflüsse auszuschalten, verwandte HESS nur Zähne mit gesunder Pulpa. Das Resultat dieser Fleißarbeit kann in wenigen Sätzen so zusammengefaßt werden: Die Wurzelkanäle verlaufen parallel der äußeren Zahnform. Es gibt Differenzierungsprodukte, die als physiologisch anzusehen sind. Als solche sind bekannt: Dentinscheidewände im Innern der Wurzelkanäle, feine Verzweigungen im apikalen Bezirk und Markkanäle, die in verschiedener Höhe der Wurzel vom Kanal zum Periodontium ziehen. Differenzierungsprodukte sind altersabhängig.

Sie treten erst nach abgeschlossener Wurzelbildung auf. Mit zunehmenden Alter kommt es durch Dentinanbau zur Verengung der Wurzelkanäle, ja sogar zur vollständigen Obliteration (7, S.53-55).

Wie HESS die Korrosionsmethode vervollkommen hat, so hat von LENHOSSEK (10) die Leistungsfähigkeit der Aufhellungsmethode voll ausgenützt. An 923 gesunden Zähnen bestätigte er erneut die Ergebnisse der eben zitierten Autoren. Er differenzierte noch weitgehender, als HESS es getan hat, und unterschied: doppelte Kanäle (die beiden Kanäle sind der ganzen Länge nach getrennt oder besitzen eine einheitliche Kanalstrecke); Kanäle, die sich an der apikalen Mündung in der Zementkappe in zwei oder drei Äste teilen; eigentliche apikale Ramifikationen (Wurzelkanal teilt sich im Bereich der Spitze büschelförmig in 5 - 8 Äste); Markkanäle, die in verschiedener Entfernung von der Wurzelspitze rechtwinklig vom Wurzelkanal abgehen (10, S.112-114).

Die Methoden der Aufhellung und der Korrosion der Hartsubstanzen wurden immer und immer wieder neu angewandt; man änderte das Füllmittel, man versuchte, noch besser aufzuhellen, aber im Grunde wiederholte man nur die Versuche eines HESS' oder eines LENHOSSEK', ohne etwas Neues zu finden.

Eine andere Methode zur Untersuchung der Topographie der Wurzelkanäle führte 1954 MEYER (11) im großen Rahmen in die zahnmedizinische Forschung ein, eine Methode, die HESS bereits 1917 ausprobiert hatte. MEYER verzichtete auf die Ausfüllung der Wurzelkanäle und untersuchte stattdessen die Zähne histologisch. Durch seine Doktorandin SCHELLE (17) ließ er Serienschritte von 50 μ Stärke anfertigen, die anschließend im

Maßstab 50 : 1 in Wachs reproduziert wurden. Ein Vergleich seiner Untersuchungsergebnisse mit denen seiner Voruntersucher ist schwierig, weil er seine eigene Terminologie hat. Jedoch kann soviel gesagt werden: MEYER findet weitaus mehr Kanäle als z.B. HESS; im Durchschnitt doppelt soviel.

Dieses auffallende Ergebnis veranlaßte BÖTTCHER (2), das Problem der Seitenkanäle neu zu bearbeiten. Er entschied sich bei dieser Untersuchung für die histologisch-mikroskopische Methode, da sie, wie er schreibt, "den geringsten Spielraum für falsche Diagnostizierung zuläßt"(2,S.22). Das Ergebnis seiner Untersuchung faßte BÖTTCHER folgendermaßen zusammen: "Die Auswertung der Befunde, die auch unter Berücksichtigung mathematisch-statistischer Erkenntnisse erfolgte, ergab, daß sowohl das prozentuale Vorkommen von Wurzelkanalverzweigungen, als auch die Angaben über das zahlenmäßige Auftreten an Zähnen mit verzweigtem Wurzelkanalsystem aufgrund dieser Untersuchungen höher anzusetzen sind, als in den Arbeiten der Autoren zum Ausdruck kommt, die das Problem nicht unter Zuhilfenahme der histologisch-mikroskopischen Methode untersuchten, wenn auch die z.T. erheblich höher liegenden Werte von MEYER/SCHEELE nicht bestätigt werden konnten"(2,S.59).

3. Die Untersuchungsmethoden

Nach dem bisher Gesagten bestehen zur Darstellung der feinen Struktur der Pulpakammer, ihrer Seitenkanäle, apikalen Verzweigungen und Ramifikationen zwei grundsätzlich verschiedene Möglichkeiten:

- 1) Es wird in die Wurzelkanäle und ihre Verzweigungen ein Füllmittel eingepreßt, welches erstarrt. Anschließend entfernt man entweder die Zahnhartsubstanzen (Korrosionsmethode) oder hellt sie so auf, daß der Zahn durchsichtig wird (Aufhellungsmethode).
- 2) Der entsprechend vorbereitete Zahn wird unter dem Mikroskop untersucht.

Die historische Methode ist die Ausfüllung des Wurzelkanals mit einem Kontrastmittel und die anschließende Sichtbarmachung. Sie ist die Methode PREISWERKS, FISCHERS und HESS'. Naturgemäß spielt dabei die Wahl des Füllmittels eine große Rolle. Es muß so dünnflüssig sein, daß es in die feinsten Verzweigungen eindringen kann. Es muß andererseits möglichst stark angefärbt und besonders dicht sein, um einen zufriedenstellenden Kontrast zum umgebenden Hartgewebe zu geben. Je visköser ein Mittel, um so eher wird es dieser Forderung entsprechen. Das Kontrastmittel sollte also zwei einander ausschließende Eigenschaften besitzen: es sollte zugleich möglichst dünnflüssig und möglichst zäh sein. Von dem Füllmittel muß ferner eine ausreichende Eigenfestigkeit verlangt werden, denn es bleibt bei der Korrosionsmethode als bizarres Gerüst stehen, ohne durch die Kanalwandung oder die umgebende Zahnhartsubstanz gestützt zu werden.

a) Die Korrosionsmethoden

Als erster wandte PREISWERK 1901 diese Methode an, mit der er den Grundstein für eine Vielzahl von Untersuchungen legte.

PREISWERK ging dabei so vor: Zähne mit freigelegter Pulpa werden bei 30°C drei Wochen mazeriert. (Der Autor gibt nicht an, welches Mittel er zur Mazeration verwendet.) Nach guter Trocknung werden die Wurzeln mit Fließpapier umwickelt und aufrecht in eine nicht zu dicke Lage Gips gestellt. Im Kronenpulparaum wird dann ein etwa 10 cm langer Trichter aus dünnem Karton mit weißem Leim festgemacht. "Nach Trocknen von Gips und Leim durch Vorwärmen erhitzt man das Ganze vorsichtig bis zu dem Grade, daß Stückchen Woodmaterial, die man in die Trichter legt, zu schmelzen beginnen. Man legt nun solange Stückchen nach, bis die Metallsäule im Trichter eine gewisse Höhe erreicht hat, wodurch ein genügender Druck entsteht, um das flüssige Metall in feinste Kanäle einzupressen. Nach dem Abkühlen bringt man die ausgegossenen Zähne in eine Lösung 20%iger Kalilauge auf 2-4 Wochen bei einer Temperatur von 40-50°C. Dadurch erweicht die Zahnhartsubstanz und läßt sich von ihrem metallischen Kern entfernen" (14, S.39).

FISCHER und HESS modifizierten diese Technik etwas, um die Korrosionsmethode leistungsfähiger zu machen; sie nahmen neue Füllmittel, sie erhitzten die Zähne nicht mehr. Kurz: die Technik wurde ausgefeilter, das Prinzip blieb. Als Beispiel sei hier die Methode von HESS angegeben.

Der extrahierte Zahn wird abgespült, die Pulpakammer eröffnet, die Eingänge zu den Wurzelkanälen werden freigelegt, ohne daß in sie eingedrungen wird. Über viele Wochen erfolgt nun im Brutschrank die Mazeration mittels Perhydrol, und zwar solange, "bis man eine 40°C warme Sodalösung von der Pulpakammer ^{aus} durch die Kanäle spritzen kann" (7, S.11). Anschließend werden die

Zähne ausgewaschen und getrocknet. "Nun werden die Zähne in ihrem Wurzelteil mit Fließpapier bis zur Schmelzgrenze umwickelt und der ganze Zahn in einer gewöhnlichen gut schließenden Cuvette in Gips eingebettet und zwar so, daß der Gips den Zahn bis zur Pulpahöhle deckt. Nach dem Erstarren des Gipses wird bei jedem einzelnen eingebetteten Zahn die Pulpahöhle mit Kautschuk verschlossen, die Oberfläche mit Talkum eingerieben und das Gegenmodell gegossen. Nach vollständigem Erhärten des Gipses wird die Cuvette geöffnet, und die Wurzelkanäle und die Pulpakammern der Zähne werden so gut als möglich mit rotem Kautschuk ausgestopft. Über die Pulpakammer hinaus läßt man einen ziemlichen Überschuß von Kautschuk gehen; um das Aufkleben desselben am Gegenmodell zu verhindern, legt man ein Leinwandstück dazwischen. Nun wird die Cuvette in warmes Wasser gebracht und ca 20 Minuten gekocht, um nachher unter ganz allmählich zunehmendem Druck unter der Presse geschlossen zu werden. Ist der Kautschuk in die Wurzelkanäle, respektive die Pulpahöhle eingedrungen, so wird nochmals ein Überschuß von Kautschuk über jede Pulpahöhle gelegt, und nun ohne Leinwand die Cuvette 20 Minuten gekocht und nochmals unter langsam zunehmendem Druck geschlossen. Die Cuvette wird nun einige Stunden unter der Presse gehalten und abgekühlt, um dann während einer Stunde bei 7 Atm. Druck vulkanisiert zu werden" (7,S.17). Danach werden die Zähne vorsichtig vom Gips befreit und in chemisch reiner Salzsäure aufgelöst. Übrig bleibt ein Dauerpräparat, welches in einem Gipsblock eingebettet werden kann. Betrachtet man kritisch alle angegebenen Verfahren der Korrosionsmethode von der einfachen fast primitiven Methode PREISWERKS

bis zur ausgefeilten und komplizierten Methode von HESS, so fällt auf : In keinem Fall besteht eine exakte Kontrolle, ob das sich in den Kanälen befindende Gewebe restlos beseitigt ist, ob also das Füllmittel überhaupt in die Kanäle eindringen kann. Aber selbst wenn alles Gewebe beseitigt würde, so stünde noch lange nicht fest, ob das Füllmittel auch tatsächlich in alle Kanalverzweigungen eingedrungen ist: eine Nachprüfung ist nicht möglich.

Es ist ferner eine Differenzierung zwischen blindem Ende und Seitenkanal nicht möglich.

b) Die Aufhellungsmethode

Diese Methode besteht darin, daß mazerierte Zähne zunächst mit einem Kontrastmittel angefüllt und dann durchsichtig gemacht werden. ADLOFF, der diese Methode 1913 als erster anwandte, schreibt über sie folgendes: "Die Zähne werden zunächst entkalkt. Die gründlich entkalkten Zähne werden dann entwässert, in Zedernholzöl aufgehellt und werden hier vollständig durchsichtig. Um sie aufzubewahren, habe ich Gläser mit Kanadabalsam gefüllt und sie hierin eingebettet" (1, S. 445). Zum Füllen der Kanäle modifizierte ADLOFF das Verfahren von PREISWERK. Er brachte die eingebetteten Zähne nicht auf die Temperatur bei der das Metall schmilzt, sondern schleuderte das auf der kalten Form erhitzte Metall mit dem Schleuderrad in die Kanäle.

Auf den Gedanken des Aufhellens und Durchsichtigmachens der Zähne ist ADLOFF durch den Anatomen SPALTEHOLZ (18) gebracht worden, der sich eingehend mit dem Durchsichtigmachen menschlicher und tierischer Präparate beschäftigt hatte. Für die Durchsichtigkeit eines unorganischen Körpers ist nach SPALTEHOLZ

entscheidend: Der Körper darf an seiner Oberfläche möglichst wenig Licht reflektieren und in seinem Innern möglichst wenig absorbieren; sein Brechungsindex sollte möglichst genau mit dem umgebenden Medium übereinstimmen. Ein organischer Körper verhält sich beim Durchsichtigmachen so, als ob alle Bestandteile denselben Brechungsindex besäßen. Jedes Gewebe und jedes Organ hat seinen mittleren Brechungsindex mit dem wir für unser optisches Verfahren rechnen können. Die Erfahrung hat gezeigt: dünnere Schichten von Geweben werden in gewissen Flüssigkeiten (Xylol, Nelkenöl) und Harzlösungen außerordentlich durchsichtig, die verschiedenen Gewebsarten bleiben aber erkennbar. (18, S.28-29)

Die umfangreichste Untersuchung, die mit der Aufhellungsmethode durchgeführt wurde, stammt von VON LENHOSSEK. Mit einer Laubsäge trennt er den frisch extrahierten Zahn in Krone und Wurzel. Die Wurzel wird in destilliertem Wasser einen Monat lang mazeriert, in 5%iger Salzsäure entkalkt und anschließend in 5%igem Natriumsulfat neutralisiert und schließlich ausgewaschen. Als Füllmittel verwendet VON LENHOSSEK eine bei 37°C flüssige Gelatinelösung mit Zusatz von Berliner Blau. "Die Gelatinelösung dringt von selbst in den Hohlraum des Zahnes und füllt ihn völlig, einschließlich seiner eventuell vorhandenen Nebenäste, aus, nur muß der Zahn von Zeit zu Zeit zur Entfernung der Luftbläschen mit der Pinzette umgewendet werden. Nach dem Abkühlen löst man das Objekt aus der Gelatinehülle und bringt es auf zwei Tage in 10%iges Formol. Auswaschen unter dem Wasserstrahl einen halben Tag lang, härten in tagweise steigendem Alkohol von 30, 50, 80 Prozent und absolutem Alkohol;

letzterer muß dreimal gewechselt werden. Zuletzt Übertragung in Benzol, das drei Tage hintereinander gewechselt wird, worin der Zahn glasartig durchsichtig wird und auf der nur ganz leicht gelblichen Grundlage das dunkelblau gefüllte Hohlraumssystem mit vollkommener Klarheit erkennen läßt "(10,S.110).

Vorläufig als letzter versuchte sich GARUS (5) in der Aufhellungsmethode. Nachdem er alle möglichen Füllmittel (Tusche, Chloropercha, "Albrecht-Neu") ausprobiert hatte, zog er, vereinfacht dargeste llt, diese Schlußfolgerung: Mit Kontrastverfahren lassen sich die feinsten apikalen Ramifikationen nicht darstellen. Erst die histologische Technik erlaubt dies (5,S.15f). Aus diesem Grund untersuchte er 20 Zähne nach dem Serienschnittverfahren. Allerdings stand ihm zum Schneiden kein ordentliches Mikrotom zur Verfügung (GARUS verwendete einen Behelfsapparat mit Rasiermessertechnik).

Wägt man kritisch Vor- und Nachteile der Aufhellungsmethode gegeneinander ab, so stellt man folgendes fest: Gegenüber der Korrosionsmethode hat das Durchsichtigmachen der Zähne unbedingt den großen Vorzug, daß die Beziehungen des Hohlraumsystems zum Gesamtzahn erhalten bleiben und ein Abbrechen auch kleinster Ästchen unmöglich ist. Aber auch diese Methode läßt keine Kontrolle darüber zu, ob alles ausgeflossen ist.

c) Die histologisch-mikroskopische Methode

Von den entkalkten Zähnen werden in lückenloser Weise Serienschnitte hergestellt. Nach dem Anfärben und Eindecken können die Schnitte ihrer Reihenfolge nach im Mikroskop betrachtet werden. Die Befunde können auf Papier übertragen oder über

Spezialprojektionsapparate als Bild wiedergegeben werden. Von da lassen sie sich umzeichnen. Durch Koordinierung der Einzelbilder ist die Rekonstruktion der räumlichen Anordnung der Kanalverzweigungen möglich. Diese Methode probierte als erster HESSE (7) 1917 an wenigen Zähnen aus. Im großen Umfang angewandt wurde sie in den Jahren 1954-1959 von MEYER/SCHIEELE (11,12,17). Die beiden Göttinger Autoren fanden eine bis dahin unbekannte Vielzahl apikaler Ramifikationen.

Bei ihrer Untersuchung gingen MEYER und SCHIEELE folgendermaßen vor:

Die Zähne werden

1. entkalkt
2. im Stück mit Carmin gefärbt
3. in Celloidin eingebettet
4. in lückenloser Serie quer zur Längsachse des Zahnes geschnitten und ihrer Reihenfolge nach eingedeckt.

Die Schnittstärke beträgt 50μ , verarbeitet werden 6 mm Wurzel vom Apex an gerechnet. Da $1 \mu = 1/1000$ mm ist, erhielten MEYER/SCHIEELE 120 Schnitte pro Zahn. Die so erhaltenen histologischen Präparate werden im Projektionsapparat vergrößert und über Kohlepapier auf Wachsplatten übertragen. Diese Umrißplatten werden ausgeschnitten und lageweise übereinander geordnet. Es entstehen so Modelle im Maßstab 50 : 1; 6 mm Wurzel ergeben ein 30 cm hohes Anschauungsmodell in Wachs.

BÖTTCHER (2) bediente sich bei seiner Untersuchung im Prinzip der eben angegebenen Methode, die MEYER entwickelt hat. Es gelang BÖTTCHER, diese zu verfeinern und zu vereinfachen. Er

beschreibt sein Vorgehen so:" Der entkalkte und gefärbte ** Zahn wird der Länge nach in sagittaler Richtung auf dem Gefrier-Mikrotom geschnitten. Die Schnittstärke betrug anfangs 50 μ , es ist aber als richtiger erkannt worden, eine Schnittstärke von 25 μ zu verwenden und jeden 2.Schnitt zu verwerfen. Das ergibt für die Betrachtung der einzelnen Schnitte günstigere Voraussetzungen.

Wählt man als Schnittrichtung die Längsachse des Zahnes, so hat das den Vorteil, daß die einzelnen Schnitte nicht so klein werden, wie bei den horizontalen Schneiden. Man spart dadurch das Einbetten der Zähne, ohne das sonst ein Auffangen derart kleiner Schnitte und die seitenrichtige Orientierung nicht möglich wären. Einen Nachteil beinhaltet diese von der Methode MEYER's abweichende Schnittrichtung nicht, denn es ist ohne Bedeutung für den Ausgang der Untersuchungen, ob die im Innern der Zahnwurzel zu erforschenden Strukturdetails durch Längsschnitte oder Querschnitte zugänglich, d.h. sichtbar gemacht werden. Wichtig ist nur, das jeder Wurzelteil von den Serienschnitten erfaßt und untersucht wird" (2,S.28f).

4. Das Versuchstier

Als Versuchstier wird die Albinoratte (*Mus norvegicus albinus*) verwendet, da, wie HERRMANN (6) schreibt," zahlreiche Experimente bewiesen haben, daß dieselben pathogenen Einflüsse auf den Gesamtorganismus bei Ratte und Mensch geeignet sind, vergleichbare pathologische Folgeerscheinungen am Gebiß bei Ratte und Mensch hervorzubringen". Natürlich bestehen Unterschiede anatomischer und physiologischer Art. Das Gebiß selbst zeigt

** BÖTTCHER verwendet zur Färbung die Silberimprägnierung nach DE CASTRO (15)

bei Ratte und Mensch erhebliche Unterschiede wie die folgende Tabelle nach HEERMANN zeigt.

Tabelle 1

	$I \frac{2}{2}$	$C \frac{1}{1}$	$P \frac{2}{2}$	$M \frac{3}{3}$	
MENSCH (diphyodont)	$i \frac{2}{2}$	$c \frac{1}{1}$	$m \frac{2}{2}$		
RATTE (monophyodont)	$I \frac{1}{1}$		$M \frac{3}{3}$		

Die in dieser Tabelle aufgeführten Zahnformeln besagen folgendes:

Im bleibenden Gebiß des Menschen unterscheiden wir in jeder Kieferhälfte zwei Schneidezähne (Incisivi), einen Eckzahn (Caninus), zwei Praemolaren und drei Mahlzähne (Molaren).

Im Milchgebiß fehlen die Molaren, dafür finden wir an Stelle der Praemolaren zwei sogenannte Milchmolaren. Das vollständige Gebiß macht einen einmaligen Zahnwechsel durch, es ist diphyodont.

Das Gebiß der Ratte setzt sich in jeder Kieferhälfte aus einem Schneidezahn und drei Molaren zusammen. Es ist monophyodont, d.h. es hat nur eine Dentition.

Bevor weitere Unterschiede zwischen dem Gebiß von Mensch und Ratte erörtert werden, soll zunächst ein Überblick über die makroskopische Anatomie des Rattengebisses gegeben werden.

Tabelle 2 [nach BÜTTNER (3) u. ROZEIK (16)]

Makroskopische Anatomie des Rattengebisses

Zahl der Zähne		Zahl der Höcker pro Zahn und ihre Verteilung		Zahl der Fissuren pro Zahn		Zahl der Wurzeln pro Zahn		Durchbruch Tage nach d. Geburt		Bemerkungen
OK	UK									
Nagezahn	2	2	-	-	-	1	9 - 10	offene Wurzel (perm. Wachstum)		
I. oberer Molar	2	-	5 (3 buccal 2 palatin.)	2	5	18	nach abgeschlossen. Wachstum keine offene Wurzel			
I. unterer Molar	-	2	6 (4 buccal 2 lingual)	3	4	17	"			
II. oberer Molar	2	-	4 (2 buccal 2 palatin.)	2	4	22	"			
II. unterer Molar	-	2	4 (2 buccal 2 lingual)	2	3	21	"			
III. oberer Molar	2	-	3 (2 palatin. 1 buccal)	2	3	38	"			
III. unterer Molar	-	2	3 (2 mesial 1 distal)	1	3	29	"			

* Mit dem abgeschlossenen Wachstum der Wurzel wird ein Foramen apicale gebildet. Keimzentren sind dann in der Tiefe der Alveole nicht mehr zu finden.

Die "Nagezähne, die permanentes Wachstum aufweisen, sind gekrümmt und reichen mit ihren "Wurzeln" bis in das Gebiet der dritten Molaren. Der Teil der oberen und unteren Incisivi, der in die Mundhöhle ragt, ist an der äußeren konvexen Seite mit Schmelz bedeckt, während die Innenfläche vom Schmelz frei bleibt, so daß Dentin an die Oberfläche tritt.

Im Rahmen dieser Arbeit interessieren vor allem die Molaren. Wie die folgende Zusammenstellung nach HERMANN (6) zeigt, sehen wir eine Verschiedenheit der Höcker- und Wurzelzahl bei Mensch und Ratte.

Tabelle 3

Zähne	1.Molar		2.Molar		3.Molar	
	Kiefer		Kiefer		Kiefer	
	OK	UK	OK	UK	OK	UK
Höcker- zahl	Mensch 4	5	3(4)	4	3	4(5)
	Ratte 5	6	4	4	3	3
Wurzel- zahl	Mensch 3	2	3	2	3	2
	Ratte 5	4	4	4	3	3

Die Molaren sind von den Nagezähnen durch ein weites Diastema getrennt und berühren einander in großen, beinahe rechteckigen Kontaktflächen. Man unterscheidet, wie beim Menschenzahn, Zahnkrone, Zahnhals und Zahnwurzel. Die Gingiva liegt dem Zahnhals dicht an. Die Zahnkrone ist mit Ausnahme der leicht konkav eingedellten Höckerspitzen mit Schmelz, die Zahnwurzel mit Zement umkleidet. Die Fissuren verlaufen tief einschneidend in bucco-

lingualer Richtung. Unter dem Schmelz liegt das Dentin und schließlich die Pulpa. In ihrem histologischen Aufbau gleichen die Rattenmolaren weitgehend den Menschenzähnen. Die Hartsubstanz besteht aus Schmelz, Dentin und Zement. Das Schmelzoberhäutchen ist ebenso zu sehen wie die Schmelzprismen, die Dentinkanälchen genauso wie die Zementapposition. Bei Karies beobachten wir wie beim Menschenzahn die frühzeitige Reaktion der Pulpa in Form von Reizdentinbildung.

II. Experimenteller Teil

1. Forderungen an die Untersuchungsmethode

An die Untersuchungsmethode muß eine ganze Anzahl von Forderungen gestellt werden, wenn sie höchsten Ansprüchen gerecht werden soll. Sie muß nach BUTTNER (2) ermöglichen:

- a) "die vollständige Sichtbarmachung a l l e r Seitenkanäle und blinden Enden,
- b) die Differenzierung, ob es sich um einen von der Pulpa-kammer bis zum Parodontium durchgängigen Seitenkanal handelt oder um ein blind im Dentin oder Zement auslaufendes Ende,
- c) die genaue Erkennung, ob es sich bei der vorliegenden Verzweigung um ein blindes Ende oder um einen unvollständig gefüllten Seitenkanal handelt,
- d) als Voraussetzung dafür die Erhaltung des die Seitenverzweigungen umgebenden Zahnhartgewebes,
- e) die richtige räumliche Einordnung des Wurzelkanalsystems zum umgebenden Zahn,
- f) die Erkennung, inwieweit Seitenkanälchen und blinde Enden von Gefäßen durchzogen oder von Gewebe erfüllt sind, oder nicht, sowie
- g) das haltbare Aufbewahren der Präparate zur Dokumentation und als Beleg der Befunde und nicht zuletzt,
- h) daß die Erzeugung von Kunstprodukten wie Risse und Sprünge vermieden wird, das heißt also die Erhitzung des Zahnes oder das Einbringen des Füllmittels unter sehr hohem Druck umgangen wird"(2,S.21f).

Überprüft man alle beschriebenen Methoden zur Darstellung der feineren Anatomie der Wurzelkanäle, so erkennt man leicht, daß keine von ihnen allen Ansprüchen genügt. Das gilt auch für die histologische Methode. Zwar lehnt SCHEELE (17) jede Kritik an der von ihr angewandten Methode ab und hält Kunstprodukte für ausgeschlossen, aber es ist doch folgendes zu bedenken:

- a) Es ist nicht genau bekannt, welchen Einfluß die Fixierungsflüssigkeit - ganz gleich welche verwendet wird - auf die Pulpa hat.
- b) Es ist nahezu unmöglich, einen Zahn so in Serie zu schneiden, daß jeder Schnitt gelingt; selbst kleinste Scharten im Mikrotommesser sind imstande, Kunstprodukte zu erzeugen.

Der Satz von E.SCHEELE, "die Modelle (die Verfasserin meint die Anschauungsmodelle in Wachs) erheben Anspruch auf äußerste Genauigkeit" (17,S.2), ist doch wohl nur cum grano salis zu nehmen.

Zweifellos gibt es genauere Methoden als die histologische; mit der modernen Isotopenforschung oder der Röntgenfluoreszenz - Mikrosonde (19) können unvorstellbar kleine Hohlräume erfaßt werden. Aber wir verlangen ja von unserer Methode nicht nur Genauigkeit, wir verlangen auch, daß sie praktisch durchführbar ist. Eine Methode, die unzumutbare Opfer an Zeit und Geld fordert, ist ohne praktischen Wert. Es gibt wohl kaum einen Zweifel, daß unter den herkömmlichen Methoden die histologische die genauesten Ergebnisse liefert. Sie erfüllt fast alle Forderungen, die wir an die Untersuchungsmethode stellen müssen. Sie ermöglicht es, klar zu unterscheiden zwischen Seitenkanal und blindem Ende; die Beziehungen zwischen den Hohlräumen und dem

umgebenden Zahnhartgewebe bleiben erhalten; die Präparate können über Jahre aufbewahrt werden und dienen als unbestechliche Belege der Untersuchungsergebnisse. Schließlich sind wir bei der histologischen Methode nicht auf ein Füllmittel angewiesen, denn wenn schon bei Menschenzähnen eine Ausfüllung aller Seitenkanäle mit dem Füllmittel ausgeschlossen werden kann - die Untersuchungen MEYERS (12) und BÖTTCHERS (2) beweisen das eindrucksvoll -, so ist eine exakte Füllung der winzig kleinen Wurzelkanäle und Seitenkanäle der Ratten erst recht unwahrscheinlich.

2. Die Methode

Nach diesen Überlegungen entschied ich mich für die histologische Methode zur Darstellung der Seitenkanäle der Rattenmolaren, d.h. ich fertigte in möglichst lückenloser Weise Schnitte von einem Kiefer an, färbte sie und brachte sie in der Schnittfolge auf den Objektträger. Die Methoden der Korrosion und Aufhellung haben sich, um es noch einmal zu wiederholen, bei der Darstellung menschlicher Seitenkanäle als zu primitiv erwiesen. Bei der Untersuchung der Rattenmolaren müssen sie als ungeeignet angesehen werden, denn:

- a) die Substanzen können nicht in die feinen Kanälchen eindringen;
- b) in den Kanälchen befindet sich oft noch Gewebe, das durch Mazeration und Spülung nicht zu beseitigen ist;
- c) blinde Enden können nicht klar genug als solche erkannt werden;
- d) es fehlt die Beziehung zum Gesamtzahn (Korrosionsmethode);
- e) die Dokumentation ist schwierig (Aufhellungsmethode), wenn nicht unmöglich.

Für die hier vorliegende Untersuchung erweist sich die histologische Methode als besonders geeignet, da sie erlaubt, in einem Arbeitsgang alle drei Rattenmolaren zu entkalken, zu schneiden, zu färben und einzuglasen.

Meine Untersuchungstechnik

Es werden 24 gesunde Ratten verschiedenen Alters untersucht. Die Tiere sind 1, 3, 6 und 12 Monate alt. Sie werden getötet, ihre Kiefer herauspräpariert und sofort in etikettierten Fläschchen mit 10%igem Formalin fixiert. *** Der weitere Arbeitsgang kann in drei große Abschnitte unterteilt werden.

A) Entkalken

B) Schneiden

C) Färben

A) Entkalken

Die mehrere Tage lang fixierten Kiefer werden

- a) 2 - 3 Tage in 5-7%iger Salpetersäure entkalkt, bis sie die Konsistenz eines Radiergummis haben,
- b) für 24 Stunden in Natriumsulfat gebracht (Natriumsulfat verhindert eine Quellung der Kiefer) und
- c) während 24 Stunden in fließendem Wasser von Säureresten befreit. Jetzt können die Kiefer beliebig lange in 10%igem Formalin liegen bleiben (15, S. 372f).

Das Entkalken erwies sich als großes Problem. Nicht ein Zahn allein, ein ganzer Kiefer mußte gleichmäßig entkalkt sein. Nicht immer gelang das ganz einwandfrei; die meisten Schnitte konnten aber trotz gelegentlich auftretender Scharten noch ausgewertet werden.

Formalin eignet sich nach ROMEIS (15, S. 60) zum Fixieren, da es dem Gewebe einen guten Härtegrad zum Gefrierschneiden verleiht und über Jahre hinaus einwandfrei konserviert.

B) Schneiden

Die fixierten und entkalkten Kiefer werden eine halbe Stunde gewässert und dann so auf den Gefriertisch gelegt, daß die drei Zähne in Richtung ihrer Längsachse geschnitten werden können. Die Schnitte von 20 μ Stärke werden anschließend in der richtigen Reihenfolge in Schalen aufgefangen; die mit Aqua dest. gefüllten Schalen sind eigens zu diesem Zweck konstruiert worden, um die richtige Aufeinanderfolge der Schnitte zu gewährleisten. Die eben angegebene Schnitttechnik weicht von der Methode MEYER's, die auf Seite 13 ausführlich dargestellt worden ist, in einigen Details ab. MEYER bettete seine Zähne in Celloidin ein und schnitt sie im rechten Winkel zur Zahnachse; die Schnittstärke betrug 50 μ ; verarbeitet wurden 6 mm vom Apex an.

Ich wählte als Schnittrichtung die Längsachse. Das bringt folgende Vorteile mit sich:

- a) es muß nicht eingebettet werden;
- b) auf jedem Schnitt sieht man Wurzel u n d Krone der Zähne;
- c) die Zahl der Schnitte ist relativ gering, ohne daß die Genauigkeit leidet.

C) Färben

Grundsätzlich kennt man zwei Färbemethoden: Stückfärbung und Schnittfärbung. Die Stückfärbung ist einfacher und zeitsparender als die Schnittfärbung. Dabei werden die Kiefer mit den Zähnen v o r dem Schneiden in toto gefärbt. Bei der Schnittfärbung durchläuft jeder Schnitt für sich die Farb- und Alkoholbäder (15, S. 147).

Da sich die Stückfärbung bei der Untersuchung menschlicher Zähne als völlig ausreichend erwiesen hat, versuchte ich es zunächst mit ihr. Ich benutzte die Silberimprägnierungsmethode nach de CASTRO*(15,S.387), die BÖTTCHER bei seinen Untersuchungen mit gutem Erfolg angewandt hatte. Er ging dabei so vor:

- a) "Die fixierten und entkalkten Zähne werden gründlich ausgewaschen; anfangs in fließendem Leitungswasser, später für 24 - 36 Stunden in Aqua dest.
- b) Die Zähne kommen für einen Tag jeweils in 20-25 ml 96%igen Alkohol, dem zwei Tropfen Ammoniak zugesetzt sind, werden
- c) für 10 - 30 Minuten in Aqua dest. ausgewaschen und
- d) in einer 1,5-2%igen Silbernitratlösung bei 37-40°C im Thermostaten 5 - 7. Tage imprägniert, bis die Stücke dunkelbraun oder grau sind.
- e) Nach schnellem Ausspülen in Aqua dest. erfolgt während 24 Stunden Reduktion in einer Lösung von Pyrogallussäure 1 g, Formol 10 g, Aqua dest. 90 g"(2,S.27).

Die Zähne sind jetzt fertig angefärbt und können geschnitten werden. Diese Färbemethode wurde in Vorversuchen mehrfach ausprobiert, mußte aber aufgegeben werden, da die Differenzierung ungenügend war und selbst kleinste Niederschläge von Silber, die nicht zu vermeiden waren bei der Kleinheit des Objektes, eine mikroskopische Untersuchung nicht mehr zuließen. So entschied ich mich für die Hämatoxylin-Eosinfärbung. Bei dieser Färbung muß jeder Schnitt für sich die Farbbäder durchlaufen; es handelt sich um eine Schnittfärbung.

Die Doppelfärbung mit Hämatoxylin-Eosin setzt sich im einzelnen

* Die Silberimprägnierung nach de CASTRO wird normalerweise zur Darstellung von Nervenfasern benutzt.

aus folgenden Phasen zusammen:

- a) Aus dem Wasser kommend, gelangt jeder Schnitt zunächst in Hämatoxylin. Es wird die sogenannte regressive Färbung verwendet, das heißt es wird zunächst überfärbt.
- b) Es folgt die Differenzierung mit Salzsäure-Alkohol; das überschüssige Hämatoxylin wird entfernt.
- c) Zum Bläuen gelangt der Schnitt für 5 - 10 Minuten in warmes Wasser.
- d) Zum Schluß wird kurz gegengefärbt; der einzelne Schnitt wird für wenige Sekunden durch Eosin gezogen.

Um die gefärbten Schnitte einzuschließen, verwendet man Harze, die zunächst in gelöster Form auf den Schnitt gebracht werden und durch Verdunsten des Lösungsmittels erhärten. Voraussetzung für diese Art des Einschlusses ist, daß die gefärbten Schnitte völlig entwässert sind. Das erreicht man, indem man sie durch Lösungen mit steigender alkoholischer Konzentration hindurchführt und endlich in ein Carboxylbad bringt. Die gefärbten und völlig wasserfreien Präparate werden jetzt eingedeckt und nummeriert.

Zweifellos liefert die HE-Färbung sehr schöne histologische Präparate -durch die Doppelfärbung kommt es zu einer differenzierten Anfärbung von Zellprotoplasma und Zellkernen -, aber sie ist nicht einfach zu erlernen und nimmt viel Zeit in Anspruch. Zwar gelang es, den Färbevorgang zu rationalisieren, indem gleichzeitig in 10 Schälchen mit Hämatoxylin gefärbt wurde. Im Prinzip ändert sich dadurch aber nichts; jeder Schnitt wird in der Reihenfolge, in der er vom Mikrotom kommt, in einer unterteilten Schale mit Wasser aufgefangen und durchläuft wieder in derselben Reihenfolge die Farbbäder.

3. Befunde

Bevor die Ergebnisse angegeben und ausgewertet werden, soll einiges über die Nomenklatur und Auswertungsmethode gesagt werden. Dies ist unumgänglich, wie schon die Literaturübersicht gezeigt hat. Was HESS als Markkanal ansieht, kann für MEYER unter Umständen ein blindes Ende und für FISCHER ein Querbruch sein. Jeder Untersucher hat also seine eigene Terminologie.

In dieser Arbeit werden als S e i t e n k a n ä l e alle von der Wurzelpulpahöhle zum Parodontium durchgehenden Kanalverzweigungen angesehen (siehe Abb. 1 u. 2.).



Abb.1: Seitenkanal bei einem 1. Oberkiefermolaren einer 12 Monate alten Ratte.
Vergr.: 10 fach; Färbung: Hämatoxylin-Eosin



Abb.2: Seitenkanal der Abb.1 in 25 facher Vergrößerung. Zementauskleidung der Seitenkanalwände. Färbung: Hämatoxylin-Eosin.

A p i c a l e R a m i f i k a t i o n e n bzw. a p i c a l e
S e i t e n k a n ä l e sind jene, die im letzten Fünftel
der Wurzel in unmittelbarer Nähe des Apex liegen (s.Abb.3 u.4.)

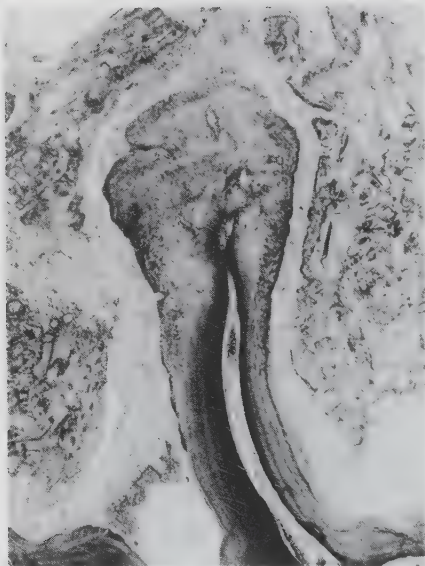


Abb.3: Apicale Ramifikationen zugleich Hyper-
zementose eines 2.Oberkiefermolaren in
25 facher Vergrößerung. Alter des Tieres:
12 Monate. Färbung:Hämatoxylin-Eosin.



Abb.4: Apicale Ramifikationen aus Abb.3 in
40 facher Vergrößerung.
Färbung: Hämatoxylin-Eosin.

Unter einem P u l p o - P e r i o d o n t a l k a n a l
soll in dieser Arbeit ein Kanal verstanden werden, der von
der Kronenpulpakammer aus in den interradiikulären Raum zieht
(siehe Abb.5 u. 6.).

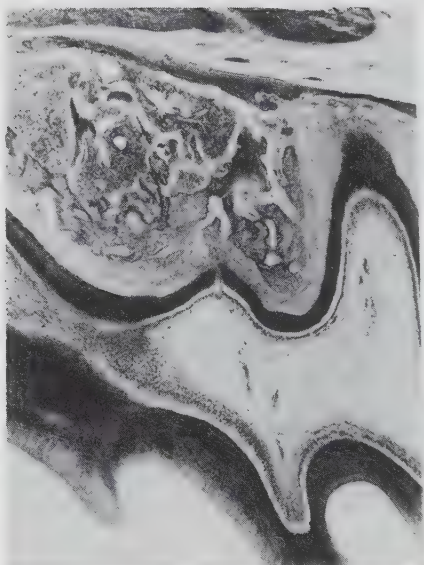


Abb.5: Pulpo-Periodontalkanal eines 1.Oberkiefermolaren in 10 facher Vergrößerung. Alter des Tieres: 1 Monat. Man sieht auf diesem Bild deutlich ein Gefäß, das sich vom Periodontium bis in ein Pulpahorn erstreckt. Färbung: Hämatoxylin-Eosin.

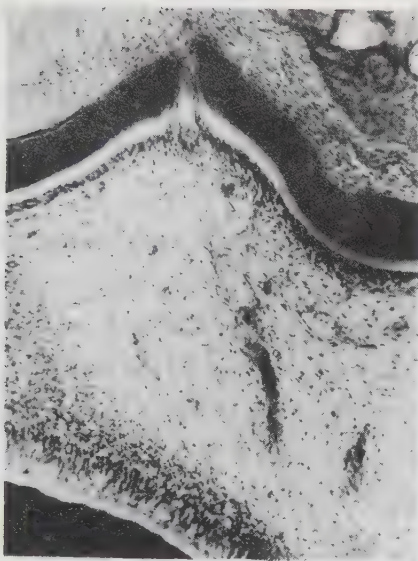


Abb.6: Pulpo-Periodontalkanal aus Abb.5 in 40-facher Vergrößerung. Das Gefäß, begleitet von feinen Nervenfasern, ist bis weit in den Pulparaum sichtbar. Vereinzelte Odontoblasten (einschichtig) mit schmaler Praedentinzone umkleiden die Mantelzone dieses Seitenkanals. Färbung:Hämatox.-Eosin

Auf die Differenzierung in b l i n d e E n d e n , e i n -
f a c h e Ä s t e u n d Z w e i g e , S p i t z e n v e r -
ä s t e l u n g e n , S e i t e n f i e d e r c h e n ,
M a r k d u k t e n (H E S S) u n d M a r k k a n ä l e w i r d v e r -
z i c h t e t .

Ausgewertet werden nur diejenigen Kanäle, die von der oberen
Wurzelhälfte bzw. der Kronenpulpahöhle ausgehen. Der Grund
der Beschränkung ist durch folgende Tatsache begründet:

Die Kanäle in der unteren Wurzelhälfte - seien es Seitenkanäle oder apicale Ramifikationen - nehmen mit steigendem Alter der Versuchstiere so zu, daß eine exakte Auszählung nicht mehr möglich ist. Es stellt dies ein vorweggenommenes Ergebnis der Untersuchung dar.

Auch so ist die Auswertung schwierig genug. Das gilt vor allem für obere Molaren, die bis zu fünf Wurzeln haben können. Oft glaubt man einen Pulpo-Periodontalkanal gefunden zu haben und einige Schnitte weiter stellt man fest, daß es sich um einen angeschnittenen Wurzelkanal einer Nachbarwurzel handelt.

a) Allgemeine Befunde

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden mehr als 7000 histologische Präparate angefertigt und unter dem Mikroskop untersucht. Dabei fällt grundsätzlich auf:

- a) Mit steigendem Alter sieht man eine verwirrende Zunahme apicaler Ramifikationen.
- b) Manche Kanälchen stellen nicht einfach Aussparungen in der Wand der Wurzelkanäle dar; durch diese Aussparungen treten Gefäße in den Zahn ein.
- c) Erstaunlich ist das häufige Auftreten von Pulpo-Periodontalkanälen, also jener Kanäle, die von der Kronenpulpa-kammer aus in den interradiikulären Raum ziehen.
- d) Die Form des Zahnes, seiner Pulpa, seiner Kanälchen und seiner Wurzeln ändert sich mit dem Alter.

Die jüngsten Tiere zeigen keine Abrasion, kein Foramen apicale, keine starke Zementapposition. Die Zähne scheinen nur aus Papille zu bestehen.

Bei den drei Monate alten Tieren sieht das Bild schon etwas anders aus. Zwar ist die Pulpa noch groß und eine Ab-
rasion der Höcker noch nicht festzustellen, aber Ansätze zur
Sekundärzementbildung und zur Bildung des Foramen apicale
sind vorhanden.

Bei den sechs Monate alten Ratten ist die Bildung des Foramen
apicale abgeschlossen, eine Zementhypertrophie an alle Zähnen
deutlich zu sehen und die Pulpa durch Anbau von Dentin einge-
engt.

Die zwölf Monate alten Tiere zeigen groteske Formen der Zement-
apposition, am Apex sind unzählige apicale Ramifikationen zu
erkennen und die Pulpa scheint geradezu eingemauert. Die Ab-
rasion ist stärkstens ausgeprägt. Zwischen der Abrasion und dem
Zementanbau scheint nicht nur eine temporäre, sondern auch eine
kausale Relation zu bestehen.

Für die Seitenkanälchen und die Pulpo-Periodontalkanälchen
gilt, was soeben über die Pulpa in den verschiedenen Alters-
stufen gesagt wurde. Mit steigendem Alter obliterieren die Ka-
nälchen: Junge Tiere besitzen breite, alte Tiere enge Kanälchen.

b) Spezielle Befunde

Es werden die Zähne von 24 gesunden Ratten untersucht, die vier
verschiedenen Lebensaltern angehören. Jede Altersstufe besteht
aus sechs Tieren. Die Untersuchung erfolgte auf dem Weg der Her-
stellung lückenloser Serienschnitte. Ausgewertet werden nur die
Molaren von 20 Tieren, ** in jeder Altersgruppe fünf Tiere. Die
Befunde werden vor allem in Form von übersichtlichen Tabellen

Zwei Kiefer wurden so weitgehend entkalkt, daß sie nicht mehr
geschnitten werden konnten. Aus Gründen der Übersichtlichkeit
und im Hinblick auf eine statistische Auswertung wurde des-
halb je ein Tier pro Altersgruppe nicht ausgewertet.

angegeben. Eine ausführliche Diskussion der Ergebnisse erfolgt im Anschluß an die statistische Auswertung.

I. Molares sup.

Bei den oberen I.Molaren finden wir alle Arten von Verzweigungen: Seitenkanälchen, Pulpo-Periodontalkanäle und apicale Ramifikationen; letztere vor allem bei älteren Tieren. Insgesamt werden 40 I.obere Molaren ausgewertet. Von ihnen besitzen 36 Verzweigungen. 12 Molaren zeigen Seitenkanälchen und Pulpo-Periodontalkanäle. Den Zusammenhang zwischen der Zahl der Kanäle und den einzelnen Altersgruppen zeigt die folgende Tabelle:

Tabelle 4

Alter (in Monaten)	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
1	16	2	18
3	11	5	16
6	8	3	11
12	11	8	19
Zus.	46	18	64

Aus der Tabelle 4 ist ein Zusammenhang zwischen den Altersstufen und der Zahl der Kanäle nicht herauszulesen. Dafür sieht man, daß die Pulpo-Periodontalkanäle häufiger auftreten als die Seitenkanäle; auf einen Seitenkanal kommen 2,6 Pulpo-Periodontalkanäle. Weiter fällt auf, daß die jüngsten Tiere die meisten

Pulpo-Periodontalkanäle und die wenigsten Seitenkanälchen aufweisen. Die folgende Tabelle gibt die genauen Befunde in der Form wieder, daß sie mit einem Blick Alter und Zahl der Kanäle eines jeden I.Molaren im Oberkiefer erkennen läßt.

Tabelle 5 ***

Alter (in Monaten)	Anzahl der Molaren	Befunde	
		PP-Kanäle	Seitenk.
1	1	2	1
1	1	-	1
1	6	2	-
1	2	1	-
3	1	1	2
3	3	1	1
3	1	3	-
3	1	2	-
3	2	1	-
3	2	-	-
6	1	2	1
6	1	1	1
6	1	-	1
6	5	1	-
6	2	-	-
12	1	-	2
12	2	2	1
12	3	1	1
12	1	-	1
12	1	2	-
12	2	1	-
40		46	18

Eine Frage kann aufgrund der Tabellen 4 und 5 nicht beantwortet werden, die Frage nämlich, ob die Kanäle bei den einzelnen Tieren symmetrisch auftreten, ob also beispielsweise der I.Molar links und der I.Molar rechts eines bestimmten Tieres gleichviel Kanäle besitzen. Diese Frage wird später für alle Molaren gemeinsam erörtert.

*** Interpretation der Tabelle 5 am Beispiel der Zeile 1:
von den 40 untersuchten I.Mol.sup. gibt es in der Altersklasse:
1 Monat einen Molaren mit 2 Pulpo-Periodontalkanälen und einem
Seitenkanal.

II. Molares sup.

Es werden wiederum 40 Zähne ausgewertet. 23 Molaren zeigen Verzweigungen, aber nur 5 besitzen Seitenkanälchen und Pulpo-Periodontalkanäle. Die Tabellen 6 und 7 zeigen, daß auch absolut die Zahl der Kanäle kleiner ist als bei den I.Molaren.

Tabelle 6

Alter (in Monaten)	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
1	3	2	5
3	3	2	5
6	2	7	9
12	4	8	12
Zus.	12	19	31

Tabelle 7

Alter (in Monaten)	Anz.der Molaren	Befunde	
		PP-Kanäle	Seitenkanälchen
1	2	-	1
1	3	1	-
1	5	-	-
3	1	1	1
3	1	-	1
3	2	1	-
3	6	-	-
6	1	-	2
6	1	1	1
6	4	-	1
6	1	1	-
6	3	-	-
12	2	1	2
12	1	1	1
12	3	-	1
12	1	1	-
12	3	-	-
	40	12	19

Es fällt auf, daß bei den II.Molaren im Oberkiefer Seitenkanälchen häufiger auftreten als Pulpo-Periodontalkanäle. Eine Beziehung zwischen den Altersstufen und der Zahl der Kanäle ist nicht zu erkennen.

III. Molares sup.

Ausgewertet werden 40 Zähne, davon besitzen 27 Verzweigungen; 10 Molaren haben Seitenkanälchen und Pulpo-Periodontalkanäle. Wie aus den Tabellen 8 und 9 zu ersehen ist, liegt die Zahl der Kanäle zwischen den Werten, die für die I. und II. Molaren gefunden wurden.

Wie bei den II.Molaren überwiegen die Seitenkanälchen. Ein Zusammenhang zwischen den Altersstufen und der Zahl der Kanäle ist nicht zu erkennen. (Zur Auswertung der III.Molares sup. ist noch zu bemerken, daß diese bei den Tieren von einem Monat Alter noch nicht durchgebrochen waren, was aber bei der histologischen Untersuchungsmethode keine Rolle spielt).

Tabelle 8

Alter (in Monaten)	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
1	-	3	3
3	11	11	22
6	2	5	7
12	6	10	16
Zus.	19	29	48

Tabelle 9

Alter (in Monaten)	Anzahl der Molaren	Befunde	
		PP-Kanäle	Seitenk.
1	3	-	1
1	7	-	-
3	3	1	2
3	1	-	2
3	1	2	1
3	1	1	1
3	1	-	1
3	2	2	-
3	1	1	-
6	1	1	1
6	4	-	1
6	1	1	-
6	4	-	-
12	1	-	3
12	2	1	2
12	2	1	1
12	1	-	1
12	2	1	-
12	2	-	-
	40	19	10

Bisher wurden die Befunde der einzelnen Molaren im Oberkiefer getrennt dargestellt. Abschließend sollen die Werte in einer Tabelle zusammengefaßt werden.

Tabelle 10

	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
I.Mol.	46	18	64
II.Mol.	12	19	31
III.Mol.	19	29	48
Zus.	77	66	143

Wie im Oberkiefer, so finden wir auch im Unterkiefer alle Arten von Kanälen. Auffallend ist die im Vergleich zum Oberkiefer geringe Anzahl von Kanälen.

I. Molares inf.

Es wurden 40 untere erste Molaren ausgewertet. Von ihnen besitzen 17 Verzweigungen. Nicht einer der Molaren zeigt Seitenkanäle und Pulpo-Periodontalkanäle. Wie die Tabelle 11 zeigt, ist ein Zusammenhang zwischen dem Alter der Tiere und der Zahl der Kanäle nicht eindeutig zu erkennen. Immerhin fällt auf - wie im Oberkiefer - , daß die jüngsten Tiere die meisten, die ältesten Tiere die wenigsten Pulpo-Periodontalkanäle besitzen. Weiter ist aus der Tabelle zu ersehen, daß die Pulpo-Periodontalkanäle zahlreicher sind als die Seitenkanäle. Auf 2 Seitenkanäle kommen 17 Pulpo-Periodontalkanäle.

Tabelle 11

Alter (in Monaten)	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
1	7	-	7
3	4	1	5
6	5	-	5
12	1	1	2
Zus.	17	2	19

Vergleicht man noch die ersten Molaren des Ober- und Unterkiefers miteinander, so sieht man: 46 Pulpo-Periodontalkanälen im Oberkiefer stehen 17 Pulpo-Periodontalkanäle im Unterkiefer gegenüber. Bei den Seitenkanälen kommen auf 16 Seitenkanäle im Oberkiefer 2 Seitenkanäle im Unterkiefer.

Die genauen Werte eines jeden I.Molaren im Unterkiefer zeigt die folgende Tabelle 12.

Tabelle 12

Alter (in Monaten)	Anzahl der Molaren	Befunde	
		PP-Kanäle	Seitenk.
1	1	2	-
1	5	1	-
1	4	-	-
3	1	2	-
3	2	1	-
3	1	-	1
3	6	-	-
6	5	1	-
6	5	-	-
12	1	1	-
12	1	-	1
12	8	-	-
	0	17	2

II.Molares inf.

Von den 40 ausgewerteten Zähnen zeigen nur 8 Verzweigungen, und zwar ausschließlich Seitenkanälchen. Nicht bei e i n e m Molaren lassen sich Pulpo-Periodontalkanäle nachweisen. Auffallend ist ein kontinuierlicher Anstieg der Zahl der Seitenkanälchen mit steigendem Alter, wie die Tabelle 13 sehr deutlich zeigt.

Tabelle 13

Alter (in Monaten)	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
1	-	-	-
3	-	1	1
6	-	2	2
12	-	9	9
Zus.	-	12	12

Die Befunde der einzelnen Molaren sind aus der Tabelle 14 zu ersehen.

Tabelle 14

Alter (in Monaten)	Anzahl der Molaren	Befunde	
		PP-Kanäle	Seitenk.
1	10	-	-
3	1	-	1
3	9	-	-
6	1	-	2
6	9	-	-
12	3	-	2
12	4	-	-
12	3	-	1
		-	

III. Molares inf.

7 der ausgewerteten 40 Molaren zeigen Verzweigungen. Wir finden Seitenkanälchen und Pulpo-Periodontalkanäle, wobei letztere überwiegen. Eine Altersabhängigkeit der Kanäle ist nicht zu erkennen, wie die Tabelle 15 zeigt.

Tabelle 15

Alter (in Monaten)	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
1	-	-	-
3	2	-	2
6	2	-	2
12	1	3	4
Zus.	5	3	8

Aus der Tabelle 16 sind die Befunde der unteren III.Molaren zu
ersehen.

Tabelle 16

Alter (in Monaten)	Anzahl der Molaren	Befunde	
		PP-Kanäle	Seitenk.
1	10	-	-
3	2	1	-
3	8	-	-
6	2	1	-
6	8	-	-
10	1	1	-
12	1	-	2
12	1	-	1
12	7	-	-
	40	5	2

Nachdem die Befunde der einzelnen Molaren im Unterkiefer ge-
trennt dargestellt wurden, sollen sie abschließend zusammen-
gefaßt werden.

Tabelle 17

	PP- Kanäle	Seiten- Kanälchen	Zus.
I.Mol.	17	2	19
II.Mol.	-	12	12
III.Mol.	5	3	8
Zus.	22	17	39

Wir sehen: die Zahl der Kanäle ist bei den I.Molaren am größ-
ten, bei den III.Molaren am geringsten. Die Werte für den II.
Molaren liegen dazwischen.

Bisher wurden die Befunde im Ober- und Unterkiefer getrennt betrachtet, nun sollen sie miteinander verglichen werden. In der Tabelle 18 sind alle Befunde übersichtlich vereint.

Tabelle 18

	PP-Kanäle	Seiten-Kanälchen	Zus.
I.Mol.sup.	46	18	64
II.Mol.sup.	12	19	31
III.Mol.sup.	19	29	48
Zus.	77	66	143
I.Mol.inf.	17	2	19
II.Mol.inf.	-	12	12
III.Mol.inf.	5	3	8
Zus.	22	17	39

Aus dieser Zusammenfassung ist folgendes zu entnehmen:

Die Zahl der Kanäle ist im Oberkiefer größer als im Unterkiefer. Ob wir die Seitenkanäle oben und unten miteinander vergleichen oder die Pulpo-Periodontalkanäle, ob wir die entsprechenden Zähne im Ober- und Unterkiefer miteinander vergleichen, immer sind die Werte im Oberkiefer größer als im Unterkiefer.

Bei unseren Untersuchungen wurden stets alle Molaren der einzelnen Tiere herangezogen. Es interessiert nun, ob bei den einzelnen Tieren bezüglich der Zahl der Kanäle ein Zusammenhang besteht

- a) zwischen einander entsprechenden Molaren der linken und rechten Kieferhälfte;

b) zwischen einander entsprechenden Molaren des Ober- und Unterkiefers.

In den folgenden vier Tabellen sind alle Untersuchungsergebnisse noch einmal im Hinblick auf eine statistische Auswertung zusammengefaßt worden. Mit Hilfe dieser Tabellen sind aber auch die oben gestellten Fragen zu beantworten.

Tab.19 Die Pulpo-Periodontalkanäle der Rattenmolaren im Oberkiefer.

Alter (in Monaten)	1.Molar Σ			2.Molar Σ			3.Molar Σ		
1	2	1	3	-	-	-	-	-	-
1	2	2	4	-	-	-	-	-	-
1	2	2	4	1	-	1	-	-	-
1	-	2	2	1	1	2	-	-	-
1	2	1	3	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 1,6$ $s^2 = 0,49$			$\bar{x} = 0,3$ $s^2 = 0,23$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$		
	Σ			Σ			Σ		
3	1	1	2	-	1	1	-	1	1
3	3	1	4	1	-	1	1	1	2
3	1	2	3	-	-	-	2	2	4
3	1	-	1	-	-	-	-	2	2
3	1	-	1	1	-	1	1	1	2
	$\bar{x} = 1,1$ $s^2 = 0,77$			$\bar{x} = 0,3$ $s^2 = 0,23$			$\bar{x} = 1,1$ $s^2 = 0,54$		
	Σ			Σ			Σ		
6	2	1	3	-	1	1	-	-	-
6	1	-	1	-	-	-	-	-	-
6	1	-	1	-	-	-	-	-	-
6	1	-	1	1	-	1	1	1	2
6	1	1	2	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0,8$ $s^2 = 0,4$			$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$			$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$		
	Σ			Σ			Σ		
12	2	1	3	-	1	1	1	1	2
12	1	-	1	-	-	-	-	1	1
12	1	1	2	-	1	1	-	-	-
12	2	2	4	1	1	2	1	1	2
12	-	1	1	-	-	-	1	-	1
	$\bar{x} = 1,1$ $s^2 = 0,54$			$\bar{x} = 0,4$ $s^2 = 0,27$			$\bar{x} = 0,6$ $s^2 = 0,27$		

Tabelle 20 Die Seitenkanäle der Rattenmolaren im Oberkiefer

Alter (in Monaten)	1.Molar Σ		2.Molar Σ		3.Molar Σ	
1	-	-	-	-	1	-
1	-	-	-	-	1	-
1	-	-	-	1	-	1
1	1	-	1	-	-	-
1	1	-	1	-	-	-
	$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$		$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$		$\bar{x} = 0,3$ $s^2 = 0,23$	
	Σ		Σ		Σ	
3	-	-	-	-	1	2
3	-	2	2	-	2	1
3	1	-	1	-	-	-
3	1	-	1	-	2	1
3	1	-	1	1	2	-
	$\bar{x} = 0,5$ $s^2 = 0,5$		$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$		$\bar{x} = 1,1$ $s^2 = 0,77$	
	Σ		Σ		Σ	
6	1	1	2	-	1	-
6	-	-	-	2	-	1
6	-	-	-	1	1	1
6	-	1	1	1	1	1
6	-	-	-	1	1	1
	$\bar{x} = 0,3$ $s^2 = 0,23$		$\bar{x} = 0,7$ $s^2 = 0,46$		$\bar{x} = 0,5$ $s^2 = 0,28$	
	Σ		Σ		Σ	
12	1	-	1	1	2	3
12	1	2	3	-	1	3
12	1	-	1	1	1	2
12	1	-	1	2	-	1
12	1	1	2	-	-	-
	$\bar{x} = 0,8$ $s^2 = 0,4$		$\bar{x} = 0,8$ $s^2 = 0,62$		$\bar{x} = 1,0$ $s^2 = 1,11$	

Tabelle 21

Die Pulpo-Periodontalkanäle der Rattenmolaren
im Unterkiefer.

Alter (in Monaten)	1.Molar Σ			2.Molar Σ			3.Molar Σ		
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	1	1	2	-	-	-	-	-	-
1	1	-	1	-	-	-	-	-	-
1	-	1	1	-	-	-	-	-	-
1	2	1	3	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0,7$ $s^2 = 0,46$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$		
	Σ			Σ			Σ		
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1	2	3	-	-	-	1	-	1
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	1	1	-	-	-	1	-	1
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0,4$ $s^2 = 0,49$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$		
	Σ			Σ			Σ		
6	1	1	2	-	-	-	-	1	1
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	1	1	-	-	-	-	-	-
6	1	-	1	-	-	-	-	-	-
6	1	-	1	-	-	-	-	1	1
	$\bar{x} = 0,5$ $s^2 = 0,28$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,18$		
	Σ			Σ			Σ		
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	1	-	1
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	1	-	1	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0,1$ $s^2 = 0,1$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0,1$ $s^2 = 0,1$		

Tabelle 22 Die Seitenkanäle der Rattenmolaren im Unterkiefer

Alter (in Monaten)	1.Molar Σ			2.Molar Σ			3.Molar Σ		
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$		
	Σ			Σ			Σ		
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	1	1	-	-	-
3	1	-	1	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0,1$ $s^2 = 1,1$			$\bar{x} = 0,1$ $s^2 = 0,2$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$		
	Σ			Σ			Σ		
6	-	-	-	-	2	2	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$			$\bar{x} = 0,2$ $s^2 = 0,4$			$\bar{x} = 0$ $s^2 = 0$		
	Σ			Σ			Σ		
12	-	-	-	-	2	2	-	-	-
12	-	-	-	1	-	1	-	-	-
12	-	1	1	1	2	3	2	-	2
12	-	-	-	-	2	2	-	-	-
12	-	-	-	1	-	1	-	1	1
	$\bar{x} = 0,1$ $s^2 = 0,1$			$\bar{x} = 0,9$ $s^2 = 0,77$			$\bar{x} = 0,3$ $s^2 = 0,46$		

Anhand dieser vier Tabellen ist bezüglich der Zahl der Kanäle ein Zusammenhang weder zwischen einander entsprechenden Molaren der linken und rechten Kieferhälfte noch zwischen einander entsprechenden Molaren des Ober- und Unterkiefers zu erkennen.

c) Statistische Auswertung der Untersuchungsergebnisse

In den Tabellen 19, 20, 21 und 22 sind die beobachteten Zahlen der Pulpo-Periodontalkanäle und der Seitenkanälchen für jedes Tier angegeben. Die Zahlen sind gegliedert nach dem Alter der Tiere, nach Unter- und Oberkiefer und nach den drei Molaren. Bei den vier Altersgruppen handelt es sich

1. um Tiere im ersten Lebensmonat;
2. um Tiere im dritten Lebensmonat;
3. um Tiere im sechsten Lebensmonat;
4. um Tiere im zwölften Lebensmonat.

In jeder Altersgruppe wurden fünf Tiere ausgewertet. In den Tabellen sind jeweils die Mittelwerte und die Varianzen in den Untergruppen angegeben.

Die Zahlen der an jeweils einem Zahn gefundenen Pulpo-Periodontalkanäle schwanken zwischen 0 und 3, die der Seitenkanäle sind, wie sich bei grober Übersicht zeigt, anscheinend geringer. Zum Teil stimmen Mittelwert und Varianz recht gut überein, was für die Annahme einer POISSON-Verteilung sprechen würde; in anderen Fällen sind die Unterschiede jedoch recht deutlich, so daß die Häufigkeitsverteilung der Pulpo-Periodontalkanäle bzw. der Seitenkanäle anhand des verhältnismäßig kleinen Umfangs der Untersuchung nicht weiter erörtert werden soll.

Bezüglich des Vorkommens der Pulpo- Periodontalkanäle und der Seitenkanälchen interessieren nun folgende Fragen, die statistisch geprüft werden sollen.

1. Besteht ein Unterschied in der Zahl der Kanäle zwischen Unter- und Oberkiefer?
2. Spielt das Alter für die Zahl der gefundenen Kanäle eine Rolle?
3. Weisen die untersuchten Molaren unterschiedliche Anzahlen der Pulpo-Periodontalkanäle bzw. der Seitenkanäle auf?

Natürlich lassen sich diese Fragen nicht ohne weiteres durch einfache Vergleichung der in den Tabellen wiedergegebenen Mittelwerte prüfen. Ein grober Überblick über die Tabellen und vor allem die Betrachtung der Varianzen zeigt, daß die Anzahl der Pulpo-Periodontalkanäle und der Seitenkanälchen in einander entsprechenden Zähnen einer biologischen Streuung unterliegen. Infolgedessen sind die Unterschiede der Häufigkeiten der Kanäle in den einzelnen Untersuchungsgruppen nur unter Berücksichtigung von Zufallsabweichungen zu beurteilen.

Da die Verteilungen der Anzahlen der Kanäle nicht hinreichend genau bekannt sind, haben wir zur Prüfung der obengenannten Zahlen keine Mittelwertvergleiche gezogen, sondern haben nach besonderen Gesichtspunkten einen Schnitt gelegt und beispielsweise zwischen Zähnen mit null und einem Kanal und solchen mit zwei und mehr Kanälen unterschieden. Damit ließen sich die Fragen durch Häufigkeitsvergleiche prüfen. Da die Zahlen relativ klein waren, mußten besondere Testmethoden beim Häufigkeitsvergleich angewandt werden, und zwar wurden in den meisten Fällen der sogenannte

direkte Test nach R.A.FISHER (9) verwendet, der auch bei Untersuchungen von kleinem Umfang exakte Ergebnisse liefert.

Direkter Test nach R.A.FISHER

Man stellt die Zahlen der Zähne mit bestimmten Anzahlen von Kanälen der zu vergleichenden Gruppen übersichtlich in einer Vierfeldertafel gegenüber.

	Zähne mit x Kanäle		Σ
	$\searrow$ x Kanäle	$\swarrow$ x Kanäle	
Gruppe 1	n_{11}	n_{12}	$n_{1.}$
Gruppe 2	n_{21}	n_{22}	$n_{2.}$
Σ	$n_{.1}$	$n_{.2}$	n

Man geht von dem am schwächsten besetzten Feld aus und stellt unter Festhalten der Randsummen alle 2 x 2-Tafeln auf, die noch weniger Fälle in dem Feld haben. In der Gesamtheit aller 2 x 2-Tafeln, die man bei gegebenen Randsummen zusammensetzen konnte, haben diejenigen mit der beobachteten oder einer noch geringeren Besetzung des schwächsten Feldes die Wahrscheinlichkeit α .

$$\alpha = \frac{n_{1.}! n_{2.}! n_{.1}! n_{.2}!}{n!} \sum_i \frac{1}{n_{11}^{(i)}! n_{12}^{(i)}! n_{21}^{(i)}! n_{22}^{(i)}!}$$

Der Zusatz (i) bedeutet, daß für jede der aufgestellten Tafeln der hinter dem Summenzeichen stehende Ausdruck zu berechnen und dann in der Summe zusammenzufassen ist.

1 a) Vergleich der Häufigkeit der Seitenkanäle von Ober- und Unterkiefer.

Wir benutzen den eben beschriebenen FISHER-Test. Die Werte entstammen den Tabellen 20 und 22. Es wird zwischen dem Vorhandensein und dem Nichtvorhandensein von Seitenkanälen unterschieden. Die Häufigkeiten der Zähne mit und ohne Seitenkanäle im Ober- und Unterkiefer werden getrennt nach Molaren miteinander verglichen.

Tabelle 24 Häufigkeiten der I.Molaren mit und ohne Seitenkanäle im Ober- und Unterkiefer.

	Seitenkanäle		Σ
	+	-	
OK	13	7	20
UK	2	18	20
Σ	15	25	40

$$\alpha = 0,0387 \%$$

Wie die Tabelle 24 zeigt, finden sich am Unterkiefer weniger Zähne mit Seitenkanälen als am Oberkiefer. Durch den FISHER-Test wird nun geprüft, ob dieser Unterschied gesichert ist. Wir berechneten einen Wert $\alpha = 0,04\%$ (Ausführung der Berechnung siehe Rechenblatt S. 53). Mit diesem Ergebnis nehmen wir an, daß der Unterschied in der Häufigkeit von Zähnen mit Seitenkanälen zwischen Ober- und Unterkiefer signifikant ist. Die mit dieser Aussage verbundene Irrtumswahrscheinlichkeit beträgt $\alpha = 0,04\%$ und ist als sehr gering zu bezeichnen. Sie besagt, daß bei Wiederholungen der gleichen Untersuchung an 20 Tieren unter der Gültigkeit der Null-Hypothese, daß kein Unterschied besteht, das vorliegende Ergebnis einmal bei 2500 Wiederholungen zufällig zu erwarten wäre.

Rechenblatt

Es soll hier an einem Beispiel das Vorgehen beim FISHER-Test gezeigt werden. In der Tabelle 24 sind die Häufigkeiten der I.Molaren mit und ohne Seitenkanäle im Ober- und Unterkiefer aufgeführt worden. Es soll geprüft werden, ob ein statistisch nachweisbarer Unterschied zwischen den I.Molaren des Ober- und Unterkiefers bezüglich der Zahl der Seitenkanäle besteht.

	+	-	Σ
OK	13	7	20
UK	2	18	20
Σ	15	25	40

	+	-	Σ
OK	14	6	20
UK	1	19	20
Σ	15	25	40

	+	-	Σ
OK	15	5	20
UK	0	20	20
Σ	15	25	40

$$d = \frac{20!20!15!25!}{40!} \left(\frac{1}{2!18!13!7!} + \frac{1}{1!19!14!6!} + \frac{1}{0!20!15!5!} \right)$$

log20! = 18.3861	log40! = 47.9116	log40! = 47.9116	log40! = 47.9116
log20! = 18.3861	log 2! = 0.3010	log 1! = 0.0000	log 0! = 0.0000
log15! = 12.1165	log18! = 15.8063	log19! = 17.0851	log20! = 18.3861
log25! = 25.1906	log13! = 9.7943	log14! = 10.9404	log15! = 12.1165
74.0793	log 7! = 3.7024	log 6! = 2.8573	log 5! = 2.0792
	77.5156	78.7944	80.4934

$$\begin{array}{r} 78.0793 -4 \\ - 77.5156 \\ \hline 0.5637 -4 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 79.0793 -5 \\ - 78.7944 \\ \hline 0.2849 -5 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 81.0793 -7 \\ - 80.4934 \\ \hline 0.5859 -7 \end{array}$$

Antilogarithmus:	0.0003662	0.00001927	0.0000003844
	0.0003662000		
	0.0000192700		
+	0.0000003844		

$$0.0003868544 \text{ multipliziert mit } 100 = \underline{\underline{0.0387\%}}$$

Tabelle 25 Häufigkeiten der II. Molaren mit und ohne
Seitenkanäle im Ober- und Unterkiefer

Seitenkanäle				
	+	-	Σ	
OK	14	6	20	$\alpha = 17,0291\%$
UK	4	16	20	
Σ	18	22	40	

Hier zeigt sich also kein signifikanter Unterschied; einen solchen wollen wir nur annehmen, wenn $\alpha \leq 1\%$; ein Ergebnis mit $\alpha \leq 5\%$ würden wir als auffällig betrachten.

Tabelle 26 Häufigkeiten der III. Molaren mit und ohne
Seitenkanäle im Ober- und Unterkiefer

Seitenkanäle				
	+	-	Σ	
OK	16	4	20	$\alpha = 0,000028\%$
UK	2	18	20	
Σ	18	22	40	

Für den III. Molaren erhalten wir wieder einen hochsignifikan-
ten Unterschied.

Ergebnis: Beim Vergleich der Seitenkanäle im Ober- und Unter-
kiefer wurden I., II. und III. Molaren getrennt un-
tersucht. Der Vergleich ergab bei den I. und III.
Molaren einen signifikanten Unterschied zwischen
Unter- und Oberkiefer. Ein solcher Unterschied war
bei den II. Molaren nicht zu sichern.

1. b) Vergleich der Häufigkeiten der Pulpo-Periodontalkanäle von Ober- und Unterkiefer

Es werden jetzt nur die I.Molaren statistisch ausgewertet, da die II. und III. Molaren im Unterkiefer praktisch ohne Pulpo-Periodontalkanäle sind, wie ein Blick auf die Tabelle 21 zeigt. Das Vorgehen ist im Prinzip das gleiche wie bei der Auswertung der Seitenkanäle (direkter Test nach R.A.FISHER). Die Zahlenverhältnisse liegen hierbei allerdings etwas anders, und zwar liegt die Zahl der Pulpo-Period^{do}ontalkanäle im allgemeinen höher. Tabelle 27 zeigt eine zusammenfassende Gliederung der Zähne mit bestimmter Anzahl von Pulpo-Periodontalkanälen, nach Ober- und Unterkiefer gegliedert. Die Zahlen sind aus den Tabellen 19 und 21 entnommen.

Tabelle 27 Untersuchte I. Molaren gegliedert nach der Anzahl der gefundenen Pulpo-Periodontalkanäle im Ober- und Unterkiefer

	Anzahl der PP-Kanäle				
	0	1	2	3	4
OK	-	7	4	5	4
UK	9	7	2	2	-

Zur Auswertung nach dem FISHER-Test haben wir Tabelle 27 weiter vereinfacht und die Häufigkeiten der Zähne mit weniger als 2 Kanälen und jene mit 2 und mehr Kanälen zusammengefaßt.

Tabelle 28 Untersuchte I. Molaren gegliedert nach Ober- und Unterkiefer und zwei Häufigkeitsklassen der gefundenen Pulpo-Periodontalkanäle (weniger als zwei Kanäle und zwei und mehr Kanäle.)

	Zähne mit		
	≥ 2 Kanälen	< 2 Kanälen	Σ
OK	13	7	20
UK	4	16	20
Σ	17	23	40

$$\underline{\underline{\chi^2 = 0,4769\%}}$$

Die Wahrscheinlichkeit für die 2x2-Tafeln mit der beobachteten oder einer noch geringeren Besetzung des schwächsten Feldes beträgt 0,4769 %. Dieser Wert ($< 5\%$) deutet zumindest auf einen auffälligen Befund hin.

Ergebnis: Der Vergleich der Pulpo-Periodontalkanäle von Ober- und Unterkiefer wurde an den I.Molaren durchgeführt. Wenn man den Schnitt bei zwei Kanälen legt, also unterscheidet zwischen weniger als zwei Kanälen bzw. zwei Kanälen und mehr, so ist ein auffälliger Unterschied zwischen Ober- und Unterkiefer nachzuweisen.

2. Prüfung eines Zusammenhanges zwischen Zahl der Kanäle und Alter der Versuchstiere.

Hierbei lassen sich die "Ergebnisse der drei Molaren in den einzelnen Altersklassen zusammenfassen, so daß der Vergleich mit größeren Zahlen geführt werden kann. Man braucht also nicht mehr auf das rechnerisch aufwendige Verfahren nach R.A.FISHER zurückzugreifen, sondern es sind die Voraussetzungen für die Anwendung des χ^2 -Testes zum Häufigkeitsvergleich gegeben. Der χ^2 -Test kann bei genügend großem Umfang der Untersuchung immer dann angewandt werden, wenn beobachtete Häufigkeiten mit Häufigkeiten, die unter einer bestimmten Hypothese erwartet werden, verglichen werden.

Bei unserer Fragestellung wird das χ^2 -Verfahren in Form einer Unabhängigkeitsprüfung im $k \times l$ Schema angewandt. Dabei wird das Material nach zwei Merkmalsarten mit k bzw. l Klassen geordnet. "Die beiden Merkmalsarten sind dann unabhängig voneinander verteilt, wenn die Häufigkeitsverteilung in allen Spalten und Zeilen die gleiche ist. "Der Unabhängigkeitsprüfung liegt die Nullhypothese zugrunde, daß alle tatsächlich beobachteten Besetzungszahlen der Felder nur Zufallsabweichungen von dieser gleichmäßigen Unabhängigkeitsverteilung sind. Mit den Bezeichnungen der Tabelle 29 für die Beobachtungswerte errechnen sich die Erwartungswerte E_{ij} für die Unabhängigkeitshypothese:

$$E_{ij} = \frac{n_{i.} \cdot n_{.j}}{n}$$

Mit diesen Werten stellt man die Tabelle der Erwartungswerte bei Unabhängigkeit auf." (9)

Tabelle 29 : k x l - Schema

n_{11}	n_{12}	$\dots n_{1j}$	$\dots n_{1k}$	$n_{1\cdot}$
n_{21}	n_{22}	$\dots n_{2j}$	$\dots n_{2k}$	$n_{2\cdot}$
n_{i1}	n_{i2}	$\dots n_{ik}$	$\dots n_{ik}$	$n_{i\cdot}$
n_{l1}	n_{l2}	$\dots n_{lj}$	$\dots n_{lk}$	$n_{l\cdot}$
$n_{\cdot 1}$	$n_{\cdot 2}$	$\dots n_{\cdot j}$	$\dots n_{\cdot k}$	n

$$\chi^2 = \sum_{ij} \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}}$$

$$f = (k-1) (l-1)$$

Das χ^2 -Verfahren kann in allen Fällen angewandt werden, wenn beachtet wird:

- 1) die Erwartungswerte sollen nicht kleiner als fünf, keinesfalls aber kleiner als eins sein.
- 2) Die Zufallsschwankungen in den einzelnen Feldern müssen unabhängig voneinander sein.

Zunächst werden in den Tabellen 30 und 31 die Häufigkeiten der Molaren im Oberkiefer mit bestimmter Anzahl von Kanälen gegliedert nach den vier Altersgruppen angegeben. Zur Durchführung des χ^2 -Testes sind die Häufigkeiten in den einzelnen Feldern zu klein, wir haben deshalb die Häufigkeiten der Zähne mit weniger als zwei und mit zwei und mehr Kanälen in den Tabellen 32 und 33 zusammengefaßt. Die Zahlen sind aus den Tabellen 19 und 20 entnommen.

Tabelle 30 Untersuchte Molaren im Oberkiefer gegliedert nach vier Altersklassen und der Anzahl der gefundenen Pulpo-Periodontalkanäle.

Alter *	Anzahl der PP-Kanäle				
	0	1	2	3	4
1	8	1	2	2	2
2	2	6	4	1	2
3	7	5	2	1	-
4	3	6	4	1	1

*
Es handelt sich um die 4 Altersstufen:
1 = 1 Monat
2 = 3 Monate
3 = 6 Monate
4 = 12 Monate

Tabelle 31 Untersuchte Molaren im Oberkiefer gegliedert
nach 4 Altersstufen und der Anzahl der gefunde-
nen Seitenkanäle.

Alter	Anzahl der Seitenkanäle				
	0	1	2	3	4
1	-	7	-	-	-
2	6	3	3	3	-
3	7	4	4	-	-
4	2	6	3	3	-

Tabelle 32 Untersuchte Zähne des Oberkiefers gegliedert
nach dem Alter der Tiere und zwei Häufigkeitsklassen der
gefundenen Pulpo-Periodontalkanäle (weniger als zwei Kanäle
und zwei und mehr Kanäle).

	PP - Kanäle		Σ
	zwei u. mehr	weniger als zwei	
1	6	9	15
2	7	8	15
3	3	12	15
4	6	9	15
Σ	22	38	60

$$\underline{\underline{\chi^2 = 2,61}}$$

Wir berechneten einen Wert $\chi^2 = 2,61$ (Ausführung der Berechnung siehe Rechenschema Tab. 32a). Dieser Wert ist mit dem Tafelwert bei entsprechender Anzahl der Freiheitsgrade ($f=3$) und $\alpha = 1\%$ bzw. $\alpha = 5\%$ zu vergleichen.

Wir finden einen Tafelwert:

$$\chi^2_{(f=3; \alpha=0,05)} = 7,815$$

Der berechnete Wert übersteigt diesen Tafelwert nicht; er liegt im Zufallsbereich. Ein signifikanter Unterschied der Anzahl der Kanäle zwischen den einzelnen Altersgruppen läßt sich also nicht nachweisen.

Tabelle 32 a Rechenschema zur χ^2 -Unabhängigkeitsprüfung.

In jedem Feld steht rechts oben der beobachtete Wert, links oben der Erwartungswert E_{ij} , darunter links $(n_{ij} - E_{ij})$ und daneben $(n_{ij} - E_{ij})^2 : E_{ij}$

		Zahl der Kanäle				Σ
		zwei u.mehr		weniger als zwei		
Alter	1	5,5 + 0,5	6 0,05	9,5 - 0,5	9 0,03	15
	2	5,5 + 1,5	7 0,41	9,5 - 1,5	8 0,24	15
	3	5,5 - 2,5	3 1,14	9,5 + 2,5	12 0,66	15
	4	5,5 + 0,5	6 0,05	9,5 - 0,5	9 0,03	15
Σ		22		38		60

$$\chi^2 = 2,61$$

Tabelle 33 Untersuchte Zähne des Oberkiefers gegliedert nach dem Alter der Tiere und zwei Häufigkeitsklassen der gefundenen Seitenkanäle (weniger als zwei und zwei und mehr Seitenkanäle). Die Erwartungswerte stehen in Klammern unter den Beobachtungswerten.

Alter	Seitenkanäle		Σ
	zwei u. mehr	weniger als zwei	
1	0 (4,25)	15 (10,75)	15
2	6 (4,25)	9 (10,75)	15
3	4 (4,25)	11 (10,75)	15
4	7 (4,25)	8 (10,75)	15
Σ	17	43	60

$$\chi^2 = 9,45$$

=====

Wert
Dieser berechnete $\chi^2 = 9,45$ ist zu vergleichen mit dem Tafelwert:

$$\chi^2_{(f=3; \alpha = 0,05)} = 7,851$$

Der berechnete Wert übersteigt den Tafelwert. Folglich besteht zwischen den einzelnen Altersgruppen hinsichtlich der Anzahl der Seitenkanäle ein auffälliger Unterschied bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\leq 5\%$.

Ergebnis: Zwischen den verschiedenen Altersklassen besteht hinsichtlich der Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle im Oberkiefer kein auffälliger oder signifikanter Unterschied. Dagegen ist die Zahl der Seitenkanälchen im Oberkiefer in den verschiedenen Altersklassen unterschiedlich.

Derselbe Vergleich wie im Oberkiefer wird auch im Unterkiefer durchgeführt. Die Werte stammen aus den Tabellen 21 und 22.

Tabelle 34 Untersuchte Zähne des Unterkiefers gegliedert nach
Alter der Tiere und Vorhandensein bzw. Nichtvor-
handensein von Pulpo-Periodontalkanälen. (Die Er-
wartungswerte stehen in Klammern unter den Beob-
achtungswerten).

Alter	Zahl der Kanäle		Σ
	vor- handen	nicht vorh.	
1	4 (4)	11 (11)	15
2	4 (4)	11 (11)	15
3	6 (4)	9 (11)	15
4	2 (4)	13 (11)	15
Σ	16	44	60

$$\chi^2 = 2,72$$

Da der berechnete Wert $\chi^2 = 2,72$ den Tafelwert χ^2 ($f=3; \alpha = 0,05$) = 7,815 nicht übersteigt, liegt jener im Zufallsbereich. Ein signifikanter oder auffälliger Unterschied der Anzahl der Kanäle zwischen den einzelnen Altersgruppen läßt sich also nicht nachweisen.

Tabelle 35 Untersuchte Zähne des Unterkiefers gegliedert nach
Alter der Tiere und Vorhandensein bzw. Nichtvor-
handensein von Seitenkanälen (Die Erwartungswerte
 stehen in Klammern unter den Beobachtungswerten).

Alter	Zahl der Kanäle		Σ
	vor- handen	nicht vorh.	
1	-- (2,75)	15 (12,25)	15
2	2 (2,75)	13 (12,25)	15
3	1 (2,75)	14 (12,25)	15
4	8 (2,75)	7 (12,25)	15
Σ	11	49	60

$$\chi^2 = 17,76$$

=====

Vergleicht man den berechneten Wert $\chi^2 = 17,76$ mit dem Tafelwert

$\chi^2 (f=3; \alpha = 0,001) = 16,228$, so ergibt sich:

Es besteht zwischen den einzelnen Altersklassen bezüglich der
 Zahl der Seitenkanälchen ein signifikanter Unterschied bei
 $\alpha < 0,001$.

Ergebnis: Die Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle im Unterkiefer
 ist zwischen den einzelnen Altersgruppen nicht sig-
 nifikant unterschiedlich. Bezüglich der Seitenkanäle
 hingegen bestehen zwischen den verschiedenen Alters-
 gruppen signifikante Unterschiede, und zwar liegt die
 beobachtete Häufigkeit von Zähnen mit Seitenkanälen
 in der höchsten Altersgruppe deutlich über dem Er-
 wartungswert.

3. Die letzte Frage lautet: Besteht eine Beziehung zwischen der Zahl der Kanäle und dem Zahntyp? Diese Frage soll gleichfalls mit dem χ^2 - Verfahren geprüft werden; zunächst im Oberkiefer. Die Zahlen sind den Tabellen 19 und 20 entnommen.

Tabelle 36 Untersuchte Zähne des Oberkiefers gegliedert nach Zahntyp und Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von Pulpo-Periodontalkanälen. (Die Erwartungswerte stehen in Klammern unter den Beobachtungswerten).

Zahntyp	PP-Kanäle		Σ
	vorhanden	nicht vorh.	
I.Mol.	20 (13,33)	0 (6,66)	20
II.Mol.	10 (13,33)	10 (6,66)	20
III.Mol.	10 (13,33)	10 (6,66)	20
Σ	40	20	60

$$\chi^2 = 15,000$$

=====

Wir erhalten einen Wert von $\chi^2 = 15,000$. Diesem berechneten Wert steht ein Tafelwert von $\chi^2_{(f=2; \alpha=0,001)} = 13,815$ gegenüber. Mithin bestehen zwischen den einzelnen Molaren im Oberkiefer bezüglich der Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle signifikante Unterschiede bei $\alpha_{0,001} = 0,1 \%$.

Tabelle 37 Untersuchte Zähne des Oberkiefers gegliedert nach
Zahntyp und Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein
von Seitenkanälen. (Die Erwartungswerte stehen in
 Klammern unter den Beobachtungswerten).

Zahntyp	Seitenkanäle		Σ
	vor- handen	nicht vorh.	
I.Mol.	13 (13,33)	7 (6,66)	20
II.Mol.	11 (13,33)	9 (6,66)	20
III.Mol.	16 (13,33)	4 (6,66)	20
Σ	40	20	60

$$\chi^2 = 2,13$$

=====

Wir berechnen einen Wert von $\chi^2 = 2,13$, dem ein Tafelwert von $\chi^2_{(f=2; \alpha = 0,05)} = 5,991$ gegenübersteht. Also übersteigt der berechnete Wert den Tafelwert nicht und liegt damit im Zufallsbereich. Ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Molaren im Oberkiefer bezüglich der Zahl der Seitenkanäle läßt sich also nicht nachweisen.

Es wurde weiter geprüft, ob Häufigkeitsunterschiede in der Zahl der Kanäle zwischen den einzelnen Zahntypen am Unterkiefer nachweisbar sind. Die Zahlen stammen aus den Tabellen 21 und 22.

Tabelle 38 Untersuchte Zähne des Unterkiefers gegliedert nach
Zahntyp und Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein
von Pulpo-Periodontalkanälen. (Die Erwartungswerte
 stehen in Klammern unter den Beobachtungswerten.)

Zahntyp	PP-Kanäle		Σ
	vor- handen	nicht vorh.	
I.Mol.	11 (5,33)	9 (14,66)	20
II.Mol.	- (5,33)	20 (14,66)	20
III.Mol.	5 (5,33)	15 (14,66)	20
Σ	16	44	60

$\chi^2 = 15,50$

Der Vergleich zwischen dem berechneten Wert $\chi^2 = 15,50$ und dem
 Tafelwert $\chi^2_{(f=2; \alpha = 0,001)} = 13,815$ zeigt, daß jener diesen
 deutlich übersteigt. Es bestehen also signifikante Unterschiede
 zwischen den einzelnen Molaren im Unterkiefer bezüglich der
 Pulpo-Periodontalkanäle bei $\alpha < 0,001 = 0,1 \%$, und zwar liegt
 die beobachtete Häufigkeit bei den I.Molaren weit über dem
 Erwartungswert.

Tabelle 39 Untersuchte Zähne des Unterkiefers gegliedert nach Zahntyp und Vorhandensein bzw. Nichtvorhandensein von Seitenkanälen. (Die Erwartungswerte stehen in Klammern unter den Beobachtungswerten).

Zahntyp	Seitenkanäle		Σ
	vor- handen	nicht vorh.	
I.Mol.	2 (3,66)	18 (16,33)	20
II.Mol.	7 (3,66)	13 (16,33)	20
III.Mol.	2 (3,66)	18 (16,33)	20
Σ	11	49	60

$$\chi^2 = 5,73$$

=====

Der berechnete Wert $\chi^2 = 5,73$ übersteigt den zugehörigen Tafelwert $\chi^2_{(f=2; \alpha = 0,05)} = 5,991$ nicht. Folglich sind Häufigkeitsunterschiede der Zahl der Seitenkanälchen zwischen den Zahntypen des Unterkiefers statistisch anhand unserer Ergebnisse nicht nachweisbar.

Ergebnis: Die Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle ist nach den Test abhängig vom Zahntyp, und zwar an Ober- und Unterkiefer.

Bei den Seitenkanälchen im Ober- und Unterkiefer ist eine solche Abhängigkeit nach unseren Ergebnissen nicht nachzuweisen.

III. Diskussion

Bei der Untersuchung der histologischen Präparate unter dem Mikroskop fanden wir Seitenkanäle, Pulpo-Periodontalkanäle und apicale Ramifikationen. Dieses Ergebnis kommt nicht unerwartet; alle drei Arten von Kanälen wurden schon bei Menschenzähnen nachgewiesen, warum sollten nicht auch Rattenzähne solche Verzweigungen haben? Also eine Bestätigung der Ergebnisse, die FISCHER, HESS und viele andere bei Menschenzähnen gefunden haben? Oberflächlich betrachtet ja, aber bei näherem Hinsehen werden Unterschiede deutlich. Es tritt ein Typ des Kanals gehäuft auf, der bei den bisherigen Untersuchungen kaum beachtet wurde^{***}, auf den aber auch kaum geachtet wurde: der Typ des Pulpo-Periodontalkanals, also jenes Kanals, der von der Kronenpulpakammer aus in den interradiikulären Raum zieht. Bei den jüngsten Tieren vor allem lenken diese Kanäle durch ihre Größe und Anzahl die Aufmerksamkeit auf sich. Beim genauen Betrachten der Schnitte fällt auf, daß durch diese Kanäle Gefäße ziehen, wie auf den folgenden Abbildungen zu sehen ist.

*** Die Bezeichnung "Pulpo-Periodontalkanal" taucht 1953 zum ersten Mal bei KLEES & PHILIPPARTH (8) in der Literatur auf.

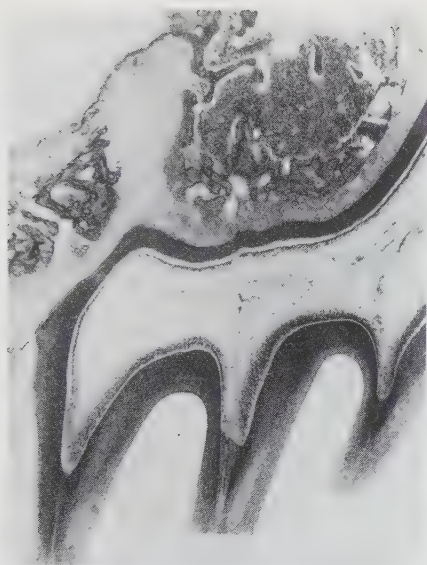


Abb.: 7 Pulpo-Periodontalkanal eines 1.Oberkiefer-
Molaren in 10 facher Vergrößerung. Alter des Tieres:
1 Monat. Es ist deutlich ein Gefäß zu sehen.
Färbung: Hämatoxylin-Eosin

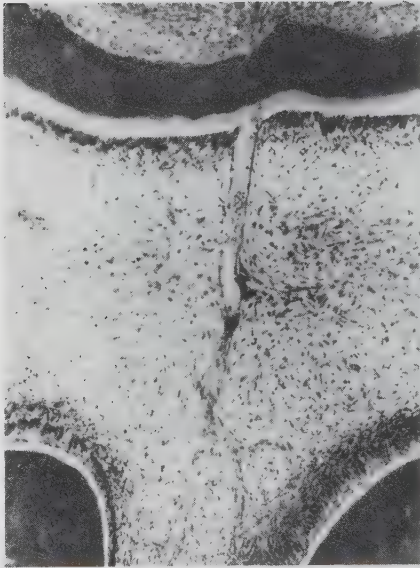


Abb.: 8 Pulpo-Periodontalkanal, 40 fache Vergr.
aus Abb.7.

Das Gefäß, das sich bis in das Pulpahorn verzweigt,
hat die Odontoblastenschicht verdrängt, erkennbar
an der Mehrschichtigkeit dieser Zellen.

Färbung: Hämatoxylin-Eosin.

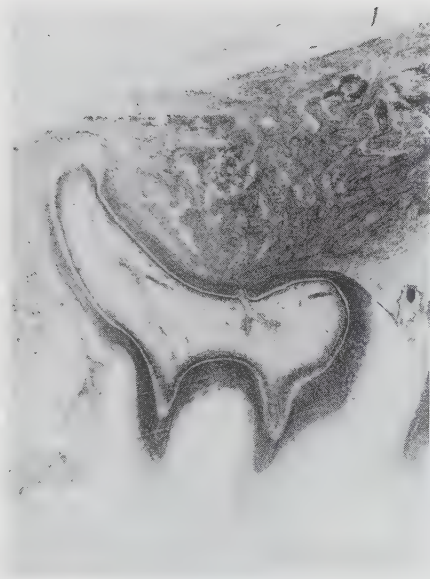


Abb.: 9 Pulpo-Periodontalkanal eines 3.Oberkiefer-
Molaren in 10 facher Vergrößerung. Alter des Tieres:
3 Monate. Wir sehen ein sich verzweigendes Gefäß.

Färbung: Hämatoxylin-Eosin

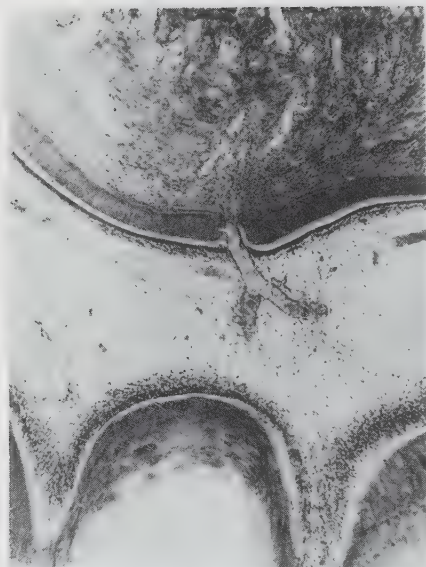


Abb.: 10 Pulpo-Periodontalkanal, 25 fache Vergr.
aus Abb.9 Färbung: Hämatoxylin-Eosin

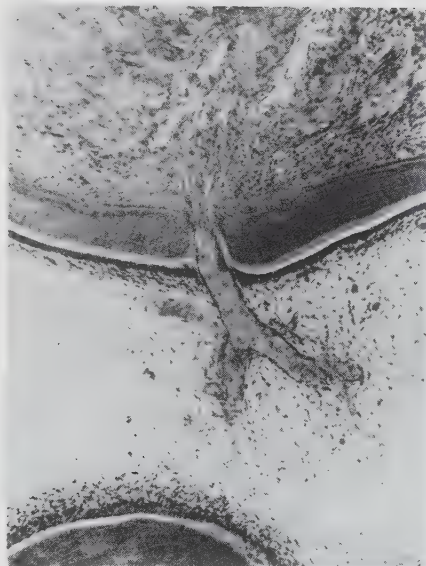


Abb.: 11 Pulp-Periodontalkanal, 40 fache Vergr.
aus Abb.9. Das sich im Pulparaum verzweigende Gefäß
ist von feinen Nervenfasern begleitet. Odontoblasten
und eine schmale Praedentinschicht umkleiden die
Seitenkanalmantelzone. Färbung: Hämatoxylin-Eosin

Die Gefäße, die auf diesen Bildern so deutlich zu sehen sind, findet man in allen Präparaten, in denen Verbindungen zwischen der Kronenpulpakammer und dem interradi- kulären Raum bestehen. Jeder Pulpo-Periodontalkanal hat sein Gefäß!

Wahrscheinlich gilt das auch für die Seitenkanäle, wenn auch hier die Gefäße nicht immer deutlich zu sehen sind. Die folgenden Abbildungen zeigen einige Seitenkanäle.



Abb.12 Seitenkanal eines 2.Oberkiefer-Molaren in
10 facher Vergrößerung. Alter des Tieres: 12 Monate.
Färbung: Hämatoxylin-Eosin



Abb.: 13 Seitenkanal aus Abb.12 in 25 facher Vergr.

Färbung: Hämatoxylin-Eosin



Abb.: 14 Seitenkanal in Apexnähe, 40 fache Vergr.
aus Abb.12. Gefäß begleitet von im Periodontium
deutlich sichtbaren Nervenfasern. Dieser Seitenka-
nal ist weitgehend von Zement ausgekleidet.
Färbung: Hämatoxylin-Eosin

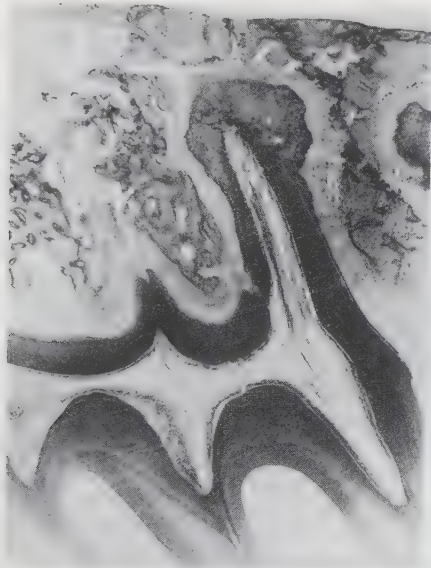


Abb.:15 Seitenkanal eines 1.Oberkiefer-Molaren in
10 facher Vergrößerung. Alter des Tieres: 3 Monate.
Man sieht eine deutliche Zementapposition.

Färbung: Hämatoxylin-Eosin

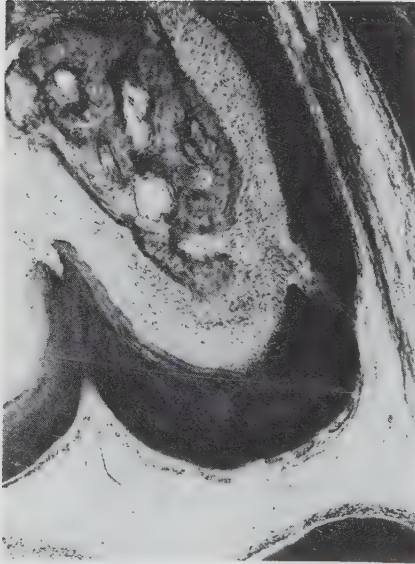


Abb.: 16 Seitenkanal mit Gefäß und Nervenfasern
aus Abb.15 in 25 facher Vergrößerung.

Links kein Seitenkanal sondern oberflächlich an-
geschnittener Wurzeleingang.

Färbung: Hämatoxylin-Eosin

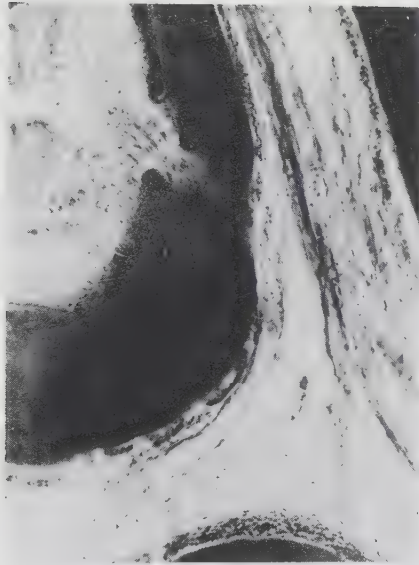


Abb.: 17 Seitenkanal aus den Abbildungen 15
und 16 in 40 facher Vergrößerung. Gefäß und
Nervenfasern sind deutlich sichtbar.

Färbung: Hämatoxylin - Eosin

Die Schnitte, die auf den nächsten Abbildungen zu sehen sind, sind technisch zwar nicht ganz gelungen, aber sie stellen eine gewisse Kuriosität dar. Man sieht auf jedem Schnitt zugleich Seitenkanal und Pulpo-Periodontalkanal, jeweils mit Gefäß.

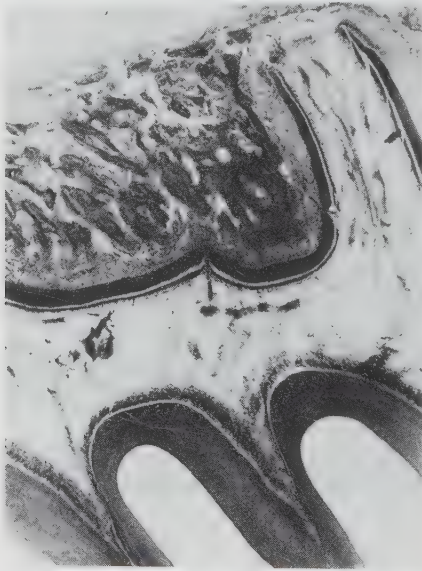


Abb.: 18 Seitenkanal u n d Pulpo-Periodontal-
kanal eines 1.Oberkiefermolaren in 10 facher Ver-
größerung. Alter des Tieres: 1 Monat.
Färbung: Hämatoxylin-Eosin.

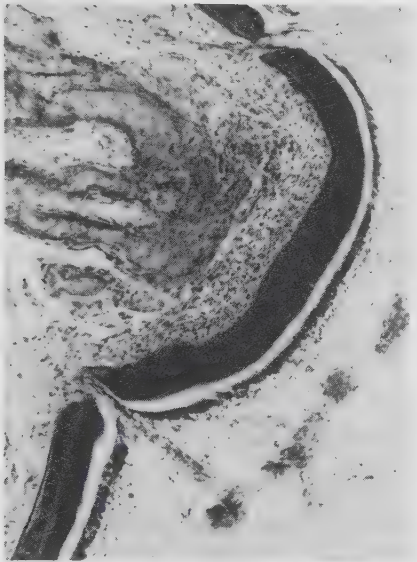


Abb.: 19 Seitenkanal und Pulpo-Periodontalkanal
aus Abb.18 in 40 facher Vergrößerung.
Man sieht Gefäße durch beide Kanäle ziehen.
Färbung: Hämatoxylin-Eosin.

Wie könnte man sich das regelmäßige Auftreten der Gefäße in diesen Seitenkanälen erklären, das in dieser Deutlichkeit bis heute nicht beschrieben worden ist? Wir wissen, daß ein Gewebe nur funktionstüchtig ist, wenn es Gefäße besitzt. Die Zahl der Gefäße hängt ab von der Größe und Art des zu versorgenden Gewebes. Nun ist bekannt, daß der Zahn eines jungen Tieres fast nur aus Papille besteht, da der Dentinanbau sich erst allmählich vollzieht. Das vermehrte Auftreten von Gefäßen und damit der Seitenkanäle dient, so könnte man folgern, der Ernährung der jungen Pulpa. Mit fortschreitendem Alter verkleinert sich der Raum für die Pulpa durch den ein Leben lang fortschreitenden Dentinanbau. Jetzt sind zusätzliche Nahrungsquellen, also auch die Gefäße überflüssig und die Kanäle verschwinden mit zunehmendem Sekundärdentinanbau. Dies gilt für den Normalfall. Auf Grund verschiedener exogener Faktoren unterbleibt in manchen Fällen die völlige Obliteration des Kanals und ein Stadium der Entwicklung bleibt als Residuum erhalten.

Für die Entstehung der Seitenkanäle ist aber auch eine andere Erklärung denkbar. Aufgrund endogener Faktoren können prae- oder postnatal, aber stets praeeruptiv, Stoffwechselstörungen, welche eine Insuffizienz des Mineralstoffwechsels zur Folge haben, Hypoplasien des Schmelzes oder erweiterte und schlecht oder unverkalkte Interglobularräume des Dentins erzeugen. Lokalisation und Ausmaß dieser "Defekte", die auf einen Funktionsausfall oder eine Störung der zugehörigen Ameloblasten und Odontoblasten beziehungs-

weise ganzer Bezirke dieser hochdifferenzierten Zellen zurückzuführen sind, werden durch die Zeit des Eintritts der pathogenen Störung, ihrer Dauer und Heftigkeit bestimmt. Diese Entstehungsursache müßte sich tierexperimentell beweisen lassen.

Da die Ausbildung der Wurzel (und des Pulpabodens bei mehrwurzligen Zähnen) erst einsetzt nachdem die Hartsubstanzbildung der Krone nahezu vollendet ist, können Seitenkanäle erst in einem späteren Entwicklungsstadium des Zahnkeims einsetzen. Erfahrungsgemäß sind in diesem Spätstadium die Mineralisationsstörungen seltener. Treten sie auf, so bleiben durchgehende Seitenkanälchen zurück, in welche Zellen, Gefäße und Nerven von beiden Seiten aus einwachsen oder bestehen bleiben können. Blind endende Seitenkanälchen dürften auf nur geringfügige Störungen zurückzuführen sein. Diese zweite Theorie verliert allerdings an Wahrscheinlichkeit, wenn man bedenkt, daß es aufgrund der Befunde nicht möglich war, eine Symmetrie bezüglich der Zahl der Kanäle zwischen einander entsprechenden Molaren eines Tieres zu erkennen.

Es wäre eine spätere Aufgabe, dieses Problem mithilfe von Tierexperimenten zu klären. Sollten sich Wurzel- und Seitenkanälchen experimentell erzeugen lassen, käme bei jeder Wurzelbehandlung des menschlichen Zahnes der Anamnese erhöhte Bedeutung zu, denn das Vorhandensein von Seitenkanälchen bedeutet bei der Wurzelbehandlung meistens eine ungünstige Prognose.

Ein weiteres Ergebnis der Untersuchung scheint mir von

Bedeutung. Es ist das geradezu gesetzmäßige Auftreten von Hyperzementosen von einem gewissen Alter der Versuchstiere an. Unter einer Hyperzementose oder einer Zementhyperplasie oder einer Zementhypertrophie - alle drei Namen bezeichnen dieselbe Erscheinung- versteht man eine kolbige Zementverdickung der Wurzelspitze.

Über die Genese der Hyperzementose gibt es in der Wissenschaft zwei entgegengesetzte Meinungen, die TSCHEU (20) sehr schön so formuliert: "Die einen vertreten die Hypothese, daß die Hyperzementose als Folge entzündlicher Vorgänge im Parodontium bzw. an der Wurzel anzusehen ist. Die anderen sehen in der Hyperzementose eine Anpassung des Zahnes an verstärkte, bzw. geänderte Belastung bzw. Funktion ohne entzündliche Vorgänge" (20, S.2).

Bei der hier vorliegenden Untersuchung wurden nur gesunde Tiere mit gesunden Zähnen untersucht und dennoch finden wir konstant eine Zementhyperplasie von einem bestimmten Alter der Tiere an. Hyperzementose als Folge entzündlicher Vorgänge erscheint demnach ausgeschlossen. Wie aber steht es mit jener Hypothese, die in einer geänderten Belastung die Ursache der Zementhypertrophie sieht? Gehen wir noch einmal auf den Menschenzahn zurück. Dieser wird überwiegend vertikal belastet und das ganze Bestreben des Zahnarztes geht dahin, diese vertikale Belastung zu erhalten oder noch zu verbessern. Man spricht in der zahnärztlichen Prothetik geradezu vom Horizontalschub als dem Todfeind jedes dauerhaften Zahnersatzes. Während nämlich der vertikal belastete Zahn fast beliebig große Kräfte aushalten kann, führt

eine Belastung im Winkel zur Längsachse normalerweise zum baldigen Verlust des Zahnes; nur in seltenen Fällen beobachtet man z.B. bei stark belasteten Brückenpfeilern, bei Kieferbruchschienen oder bei fest an den Zähnen fixierten orthopädischen Apparaten einen Zementanbau oder ein Resorption der Wurzel als Antwort des Zahnes auf den starken funktionellen Reiz.

Ratten sind Nagetiere, ihre Zähne werden demnach dauernd horizontal belastet. Was beim Menschenzahn in Ausnahmefällen möglich ist, ist beim Rattenzahn zur Regel geworden: Zementhypertrophie als Ausdruck der Anpassung des Zahnes an verstärkte Belastung. Dieser Vorgang der Zementapposition ist es, der eine frühzeitige Zahnlosigkeit der Ratten durch parodontale Erkrankungen verhindert.

Es folgen einige typische Bilder mit Hyperzementosen.



Abb.: 20 Hyperzementose bei einem
1.Oberkiefermolaren einer 6 Monate
alten Ratte.

Vergr.25 fach. Färbg.:Hämatox.-Eosin



Abb.: 21 Hyperzementose bei einem
3.Oberkiefermolaren einer 12 Monate
alten Ratte. Vergrößerung 25 fach.
Färbung: Hämatoxylin - Eosin



Abb.: 22 Hyperzementose bei einem
1.Oberkiefermolaren einer 12 Monate
alten Ratte. Vergrößerung 25 fach
Färbung: Hämatoxylin - Eosin

In der vorliegenden Arbeit sollen, so steht in der Einleitung zu lesen, die Zähne gesunder Ratten auf Seitenkanäle untersucht werden; zugleich soll geklärt werden, ob sich die Ratte als Versuchstier eignet. Was ergab nun die Untersuchung?

Mit Hilfe der histologischen Methode gelingt es festzustellen: Ratten besitzen ohne Zweifel Seitenkanälchen.

- Wir finden alle Arten von Verzweigungen, die bei Untersuchungen an menschlichen Zähnen gefunden worden sind, ob es sich um "Markkanäle" (HESS) oder "eigentliche apicale Ramifikationen" (v.LENHOSSEK) oder um "Pulpo-Periodontalkanäle" (KLEES & PHILIPP RATH) handelt. Man sieht weiter im histologischen Bild in bezug auf die apicalen und pulpalen Verhältnisse eine so weitgehende Ähnlichkeit zwischen Ratten- und Menschenzahn, daß man, ohne zu übertreiben, sagen kann: die Ratte ist als Versuchstier geeignet.

Kann man nun aber die gefundenen Ergebnisse einfach auf den Menschenzahn übertragen? Als auffallendstes Ergebnis fanden wir das häufige Auftreten von Pulpo-Periodontalkanälen.

Kann auf Grund dieses Befunds jetzt gefolgert werden, daß auch der Menschenzahn über eine Vielzahl von Pulpo-Periodontalkanälen verfügen muß? Meines Erachtens hängt die Entstehung (bzw. das Bestehen) der Pulpo-Periodontalkanäle von zu vielen Faktoren ab, als daß ein einfacher Analogieschluß zulässig wäre. Eine Korrelation zwischen Ratten- und Menschenzahn hinsichtlich der Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle ist zwar möglich, den Beweis hierfür vermag aber allein das Experiment zu liefern. Dagegen ist die Entste-

hungsursache der Kanäle beim Ratten- und Menschenzahn wahrscheinlich dieselbe.

Zwei Ergebnisse der Untersuchung bedürfen noch einer Erklärung. Es wurde festgestellt, daß a) die Zahl der Kanäle im Oberkiefer im allgemeinen größer ist als im Unterkiefer, b) der I.Molar durchschnittlich mehr Verzweigungen hat als der II. und III. Molar.

Wie ist das möglich? Vielleicht hängt dieses Ergebnis mit der Zahl der Höcker und Wurzeln zusammen - bekanntlich haben die Molaren im Oberkiefer mehr Höcker und Wurzeln als im Unterkiefer-, und die I. Molaren sowohl des Oberkiefers als auch des Unterkiefers mehr Höcker und Wurzeln als die II. und III. Molaren.

IV. Zusammenfassung

In einer größeren Versuchsreihe soll geklärt werden, ob sich Seitenkanäle experimentell erzeugen lassen. Als Seitenkanäle werden alle vom Pulpakavum zum Parodontium durchgehenden Kanalverzweigungen bezeichnet. Voraussetzung einer experimentellen Untersuchung ist ein geeignetes Versuchstier. In der vorliegenden Arbeit soll festgestellt werden, ob die Ratte dieses geeignete Versuchstier ist. Dies wäre dann der Fall, wenn es gelänge zweifelsfrei nachzuweisen, daß die gesunde Versuchsratte über Seitenkanäle verfügt.

Zur Untersuchung erwies sich die histologisch-mikroskopische Methode als die geeignetste.

Es wurden 24 gesunde Ratten verschiedenen Alters untersucht. Die 1, 3, 6 und 12 Monate alten Tiere wurden getötet, dann wurden die Kiefer herauspräpariert, entkalkt und in Serie geschnitten. Die Schnittebene verlief in der Längsachse der Zähne; die Schnittstärke betrug 20 μ . Jeder Schnitt wurde mit Hämatoxylin-Eosin gefärbt, dann aufgezo-gen und eingeglast. Insgesamt wurden über 7000 histologische Präparate hergestellt, unter dem Mikroskop untersucht und zum Teil unter verschiedener Vergrößerung photographiert.

Die Befunde ergaben, daß Seitenkanäle an Zähnen aller Altersklassen auftreten. Man findet sie in der Nähe des Apex, aber auch weit entfernt von der Wurzelspitze im

Bereich der Kronenpulpakammer, wo man sie Pulpo-Periodontalkanäle nennt.

Die Auswertung der Befunde mit Hilfe statistischer Methoden ergab:

1. Die Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle ist im Oberkiefer größer als im Unterkiefer.

Die Zahl der Seitenkanäle ist im Oberkiefer nur bei den I. und III. Molaren, nicht aber bei den II. Molaren signifikant größer als im Unterkiefer.

2. Zwischen den verschiedenen Altersklassen läßt sich bezüglich der Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle nach unseren Ergebnissen kein Unterschied statistisch sichern.

Dagegen ist die Zahl der Seitenkanäle zwischen den verschiedenen Altersstufen signifikant verschieden, und zwar liegt die beobachtete Häufigkeit von Zähnen mit Seitenkanälen in der höchsten Altersgruppe deutlich über dem Erwartungswert.

3. Die Zahl der Pulpo-Periodontalkanäle ist abhängig vom Zahntyp: die beobachtete Häufigkeit bei den I. Molaren liegt weit über dem Erwartungswert.

Bei den Seitenkanälen ist eine solche Abhängigkeit nach unseren Ergebnissen nicht nachzuweisen.

Auffallend oft sieht man sogenannte Pulpo-Periodontalkanäle, also jene Kanäle, die von der Kronenpulpakammer aus in den interradikulären Raum ziehen. Gerade bei diesen Kanälen, aber auch bei den Wurzel-Seitenkanälen, fällt auf, daß sie

von Gefäßen und Nervensträngen durchzogen werden, die aus der knöchernen Alveole kommend in die Kronen- bzw. Wurzelpulpa einziehen. Die Gefäße dienen möglicherweise der zusätzlichen Ernährung der jungen Pulpa, die sich ja bekanntlich mit steigendem Alter der Tiere verkleinert. Man könnte deshalb vermuten, daß das Auftreten von Kanälen in einem gewissen Stadium der Entwicklung als physiologisch anzusehen ist.

Andererseits wissen wir, daß es auf Grund endogener Faktoren zu Stoffwechselstörungen kommen kann, die für Hypoplasien des Schmelzes und minderverkalkte Interglobularräume des Dentins verantwortlich zu machen sind. Treten diese Mineralsiationsstörungen früh auf, so können durchgehende Seitenkanälchen zurückbleiben, in die nachträglich Gefäße und Nerven einwachsen.

Mit Gewißheit ist festzustellen, daß die weiße Ratte als Versuchstier zur Klärung der Problematik der Entstehung der Seitenkanäle hervorragend geeignet ist.

Literaturverzeichnis

- 1) ADLOFF, P.: Das Durchsichtigmachen von Zähnen und unsere Wurzelfüllungsmethoden.
Dtsch.Mschr.Zahnhk. 7, 445 (1913)
- 2) BÜTTCHER, P.: Die Seitenkanäle der oberen Frontzähne und Praemolaren des Menschen.
Med.Inaug.Diss. Mainz 1963
- 3) BÜTTNER, W.: Tierexperimentelle Untersuchungen zur Frage der Ernährung und Zahnkaries.
Med.Inaug.Diss. Mainz 1953
- 4) FISCHER, G.: Anatomie der Wurzelkanäle.
Dtsch.Mschr.Zahnhk. 9, 544 f (1907)
- 5) GARUS, K.W.: Über die Verzweigungen der Wurzelkanäle menschlicher Zähne.
Med.Inaug.Diss. Düsseldorf 1950
- 6) HERRMANN, M.: Vergleichende histo-pathologische Studien am Menschen- und Rattenzahn.
Vortrag gehalten am 14.Juli 1963 auf dem Orca-Kongress in Genf.
- 7) HESS, W.: Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale.
Habil.-Schr. Zürich 1917
- 8) KLEES, L. u. R. PHILIPP RATH: Über Pulpo-Periodontalkanäle.
Dtsch.zahnärztl.Zschr. 4, 173 (1953)
- 9) KOLLER, S.: Statistische Auswertungsmethoden, in: RAUEN, H.M.: Biochemisches Taschenbuch.
Berlin-Göttingen-Heidelberg-New York 1964
- 10) LENHOSSEK, M.v.: Mikroskopische Anatomie zur genaueren Kenntnis der Wurzelkanäle, in: SCHEFF, J.: Handbuch der Zahnheilkunde. Wien 1922
- 11) MEYER, W. u. E. SCHEELE: Die Anatomie der Wurzelkanäle (eine vorläufige Mitteilung)
Dtsch.zahnärztl.Zschr. 9, 497 (1954)
- 12) MEYER, W.: Die Anatomie der Wurzelkanäle (abschließender Bericht)
Dtsch.zahnärztl.Zschr. 17, 1239-1249 (1959)
- 13) MILLER, W.D.: Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde.
Leipzig 1903
- 14) PREISWERK, G.: Lehrbuch und Atlas der konservierenden Zahnheilkunde. München 1903

- 15) ROMEIS, B.: Mikroskopische Technik.
München 1948
- 16) ROZEIK, F.: Xerostomie und Kariesgenese unter Berücksichtigung tierexperimenteller Untersuchungen.
Habil.-Schr. Mainz 1958
- 17) SCHEELE, E.: Die Darstellung der Regio ramifikationis an den Wurzelkanälen menschlicher Zähne im vergrößerten WachsmodeLL.
Med.Inaug.Diss. Göttingen 1954
- 18) SPALTEHOLZ, W.: Über das Durchsichtigmachen von menschlichen und tierischen Präparaten und seine theoretischen Bedingungen.
Leipzig 1914
- 19) STRASSMANN, F.: Persönliche Mitteilung.
- 20) TSCHOU, E.: Röntgenologische Untersuchungen über Hyperzementosen an Pfeilerzähnen von fest mit dem Restgebiß verbundenen Prothesen im Seitenzahnbereich des Unterkiefers.
Med.Inaug.Diss. Mainz 1957

Herrn Prof. Dr. Dr. M. HERRMANN möchte ich für die Überlassung des Themas zu dieser Arbeit und für seine stete Hilfsbereitschaft bei der Durchführung der Versuche und bei der Abfassung der Arbeit herzlich danken.

Herrn Dr. L. HORBACH vom Institut für medizinische Statistik und Dokumentation in Mainz danke ich für die Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Befunde.

Lebenslauf

Am 18.1.1940 bin ich als Sohn des Zahnarztes Franz Back und seiner Ehefrau Olga, geb. Bercher in Tiengen geboren. Dort besuchte ich von 1946 - 1951 die Volksschule und anschließend das neusprachlich-naturwissenschaftliche Gymnasium in Waldshut, wo ich im März 1960 das Abitur bestand.

Im Mai 1960 immatrikulierte ich mich an der Johannes Gutenberg - Universität in Mainz für das Fach: Zahnheilkunde. Nach 5 Semestern legte ich im Oktober 1962 die zahnärztliche Vorprüfung ab. Mit dem Staatsexamen beendete ich nach 10 Semestern im Juli 1965 das Studium der Zahnheilkunde in Mainz. Die Bestallung als Zahnarzt erhielt ich am 18. August 1965.

Seit September 1965 bin ich als Assistent an der Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten in Mainz angestellt.

